

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

Diseño de un sistema automatizado para lavado de botas amarillas industriales en
el sector alimenticio

INGE 2967

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero en Mecatrónica

Presentado por:

Ana Paula Morales Apolo

Walter Francisco Tamayo Benites

Guayaquil - Ecuador

Año: 2025

Dedicatoria

Le dedico este logro, que marca el cierre de una etapa y el inicio de nuevas metas, a papá y mamá, Antonio Morales y Narcisa Apolo. Con todo mi corazón los honro; su ejemplo y amor me han sido de guía en cada paso de mi vida. Siempre me enseñaron a esforzarme por mis sueños, pero ustedes son, sin duda, la esencia del mío. A mis hermanos, Lorena, Antonio, Martín y Carolina, por cuidarme y por enseñarme a amar de manera incondicional. A mis sobrinos, Mathías, Thiago, Layra, Ruth, Esther, Nohemi y Samuele, que crecen con rapidez y llenan de alegría mi vida, dedico estas palabras hacia ustedes con toda la convicción de que su futuro será tan brillante como sus sueños.

Paula Morales

Agradecimientos

Agradezco profundamente a Dios y a mis padres, Antonio Morales y Narcisa Apolo, por acompañarme en cada paso de mi recorrido universitario. Gracias por su paciencia, compromiso y por creer siempre en mí. Valoro cada momento, tanto a la distancia como en el día a día, en el que me brindaron su tiempo, dedicación, palabras de alientos y consejos claros. Agradezco a mi compañero de titulación, Walter Tamayo, por su tiempo, esfuerzo y dedicación en este camino compartido hacia una meta tan anhelada para ambos. Extiendo también mi gratitud a mis hermanos y mis familiares cercanos, quienes me han sido parte fundamental de este logro.

Paula Morales

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mis padres, Walter Tamayo y Andrea Benites. A mis hermanos Andrea, Álvaro y Gabriela que me mostraron la importancia de la perseverancia y guiarme en el camino a ser un profesional como ellos.

A mis mascotas que son parte vital de mi familia y me han enseñado lo que es la responsabilidad.

A todos los que han sido parte de este camino y han aportado su granito de arena para llegar a este momento.

Walter Tamayo

Agradecimientos

Agradezco principalmente a mis padres, Walter Tamayo y Andrea Benites. A mi papi por acompañarme durante gran parte de mi vida, enseñarme y guiarme durante mi juventud para que yo pueda ser la persona que soy el día de hoy. A mi mami por mostrarme la importancia del trabajo y el esfuerzo, ser una referente de lo que significa ser admirada y respetada por el buen trabajo que haces.

A mi compañera Ana Morales por haber sido un pilar fundamental para que yo pueda llegar hasta aquí, su dedicación, paciencia y perseverancia fueron razón de motivación para lograr este objetivo. Agradezco a su padre el ing. Antonio Morales por orientarnos desde su experiencia para poder completar este proyecto.

Walter Tamayo

Declaración Expresa

Nosotros Ana Paula Morales Apolo y Walter Francisco Tamayo Benites acordamos y reconocemos que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá a los autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique los autores que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 29 de mayo de 2025.



Ana Paula Morales Apolo



Walter Francisco Tamayo Benites

Evaluadores

PhD. Jorge Hurel

Profesor de Materia

PhD. Marcelo Fajardo

Tutor de proyecto

Resumen

En Ecuador, el camarón es la principal materia prima no petrolera exportada. La industria camaronera ha experimentado un crecimiento significativo en los últimos 5 años, impulsado por la creciente demanda de China. Paralelamente, los requisitos regulatorios internacionales se han vuelto más estrictos, destacando la importancia de una correcta limpieza de indumentaria del personal.

El proyecto propone un sistema automatizado de lavado de botas en tres etapas: cepillado, enjuague y desinfección. Este sistema está diseñado para resolver el problema de las industrias camaroneras que actualmente dependen de un proceso manual que genera cuellos de botella y dificulta el control adecuado.

El diseño incluye mecanismos modelados en Inventor, construcción en acero inoxidable AISI 304 para resistir ambientes húmedos, y control mediante un PLC S7-1200 de Siemens. La efectividad del sistema fue verificada con el software CadeSimu.

Los resultados muestran una reducción del 53% en el tiempo de lavado, capacidad para atender hasta 514 personas por hora, y optimización en el consumo de recursos, permitiendo que las plantas alcancen su máxima capacidad productiva más eficientemente.

Palabras Clave: Cepillado, inocuidad alimentaria, automatización, secuencial, optimización

Abstract

In Ecuador, shrimp is the main non-oil export commodity. The shrimp industry has experienced significant growth over the last 5 years, driven by increasing demand from China. At the same time, international regulatory requirements have become stricter, highlighting the importance of proper cleaning of personnel equipment.

The project proposes an automated three-stage boot washing system: brushing, rinsing, and disinfection. This system is designed to solve the problem faced by shrimp industries that currently rely on a manual process that creates bottlenecks and makes adequate control difficult.

The design includes mechanisms modeled in Inventor, construction in AISI 304 stainless steel to withstand humid environments, and control through a Siemens S7-1200 PLC. The effectiveness of the system was verified with CadeSimu software.

The results show a 53% reduction in washing time, capacity to serve up to 514 people per hour, and optimization in resource consumption, allowing plants to reach their maximum production capacity more efficiently.

Keywords: Brushing, food safety, automation, sequential, optimization

Índice general

Resumen	i
Abstract	ii
Índice general	iii
Abreviaturas	vi
Simbología	vii
Índice de figuras	viii
Índice de tablas.....	x
Índice de planos.....	¡Error! Marcador no definido.
1 Capítulo 1	1
1.1 Introducción.....	2
1.2 Descripción del problema.....	3
1.3 Justificación del problema	3
1.4 Objetivos.....	5
1.4.1 Objetivo general	5
1.4.2 Objetivos específicos.....	5
1.5 Marco teórico.....	6
1.5.1 Exportaciones globales y el contexto económico de Ecuador	6
1.5.2 El camarón como el principal producto en las exportaciones no petroleras tradicionales en Ecuador.....	6
1.5.3 Inocuidad alimenticia y normativas internacionales	8
1.5.4 Estándares para el diseño higiénico de equipos en la industria alimentaria en Ecuador 9	
1.5.5 Proceso de limpieza y bioseguridad en el acceso a plantas de producción alimentaria 9	
1.5.6 Tecnologías utilizadas en sistemas automáticos de limpieza.....	10
2 Capítulo 2	12

2.1	Metodología.....	13
2.1.1	Requerimientos de diseño y condiciones del entorno	14
2.2	Alternativas de solución	15
2.2.1	Alternativa A: Sistema de limpieza en módulos	16
2.2.2	Alternativa B: Línea continua de lavado y desinfección con banda transportadora	17
2.2.3	Alternativa C: Sistema de lavado en 3 etapas	17
2.2.4	Comparación de criterios de selección.....	18
2.2.5	Matriz de decisión	19
2.3	Diseño conceptual.....	20
2.4	Diseño sistema de transmisión	21
2.4.1	Selección del motor	21
2.4.2	Dimensión de cepillo.....	22
2.4.3	Sistema de transmisión.....	23
2.4.4	Dimensionamiento de ejes	26
2.5	Sistema hidráulico y dosificación de agentes químicos	27
2.5.1	Diagrama de flujos de procesos (DFP)	27
2.5.2	Sistema de suministro de solución detergente (etapa 1)	29
2.5.3	Suministro de agua para enjuague (etapa 2).....	30
2.5.4	Diseño sistema de recirculación (etapa 3).....	30
2.5.5	Selección de bomba.....	31
2.6	Sistema de automatización de proceso	31
2.6.1	Descripción general del sistema.....	32
2.6.2	Definición de entradas y salidas del sistema.....	32
2.6.3	Selección de sensores	33
2.6.4	Selección de PLC	35
2.6.5	Diagrama de arquitectura de control	36
3	Capítulo 3	37

3.1	Resultados y análisis.....	38
3.2	Diseño de ejes	39
3.3	Sistema de transmisión	41
3.4	Sistema de tuberías e instrumentación.....	43
3.4.1	Etapa 1: distribución de colectores y orientación de aspersión.....	44
3.4.2	Etapa 2: distribución de colectores y orientación de aspersión.....	45
3.4.3	Etapa 3: sistema de recirculación	47
3.5	Diseño de tablero eléctrico	47
3.5.1	Esquema de funcionalidad del sistema.....	48
3.5.2	Conexiones y simulación de sistema de fuerza y control.....	50
3.6	Análisis de costos	54
4	Capítulo 4	59
4.1	Conclusiones y recomendaciones	60
4.1.1	Conclusiones	60
4.1.2	Recomendaciones.....	61
	Referencias	62
	Apéndices	67
	Apéndice A.....	68
	Apéndice B.....	72
	Apéndice C.....	81
	Apéndice D.....	90
	Apéndice E	104
	Apéndice F	108

Abreviaturas

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
FDA	U.S. Food and Drug Administration
FOA	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
OMS	Organización Mundial de la Salud
HACCP	Análisis de Peligros y Puntos de Control Crítico
BAP	Best Aquaculture Practices
PIB	Producto Interno Bruto
RCGS	Global Standard Food Safety
EHP	Enterocytozon hepatopenaei
WSSV	Virus del Síndrome de la Mancha Blanca
WFS	Síndrome de Heces Blancas
RMS	Síndrome de Mortalidad por Carrera
ADM	Enfermedad del Músculo Blanco
EMS	Síndrome de Mortalidad Temprana
CFR	Code of Federal Regulations
AISI	Instituto Americano del Hierro y Acero
ARCSA	Agencia Nacional de Regulación, Control y Vigencia Sanitaria
BPM	Buenas Prácticas de Manufactura
EHEDG	European Hygienic engineering & Design Group
NSF	National Science Foundation
PLC	Controlador Lógico Programable

Simbología

L	Litros
L/min	Litros por minuto
bar	bar
psi	Libras por pulgada
kg	Kilogramos
ml	Mililitros

Índice de figuras

Figura 1 <i>Limpieza y desinfección de calzado, pasos para minimizar la propagación de enfermedades por el calzado</i>	4
Figura 2 <i>Análisis de exportaciones de camarón del año 2024 en Ecuador</i>	7
Figura 3 <i>Diagrama de metodología de diseño</i>	13
Figura 4 <i>Diagrama funcional del proceso de limpieza y desinfección (Alternativa A)</i>	16
Figura 5 <i>Diagrama funcional del proceso de limpieza y desinfección (Alternativa B)</i>	17
Figura 6 <i>Diagrama funcional del proceso de limpieza y desinfección (Alternativa C)</i>	18
Figura 7 <i>Diseño conceptual de etapas principales del sistema</i>	21
Figura 8 <i>Características de motores WG20</i>	22
Figura 9 <i>Dimensiones de cepillo de tipo rodillo</i>	22
Figura 10 <i>Dimensiones de bota industrial talla 39</i>	23
Figura 11 <i>Organización de poleas A</i>	24
Figura 12 <i>Organización de poleas B</i>	25
Figura 13 <i>Banda SPZ1000</i>	25
Figura 14 <i>Entrada de recursos y salida de fluidos por etapas</i>	28
Figura 15 <i>Arquitectura de comunicación</i>	36
Figura 16 <i>Sistema de limpieza de botas</i>	38
Figura 17 <i>Sistema de transmisión de cepillos de suela</i>	42
Figura 18 <i>Sistema de transmisión de cepillos laterales</i>	42
Figura 19 <i>Engranaje cónico de transmisión 1:1</i>	43
Figura 20 <i>Sistema de aspersión de solución detergente – vista isométrica</i>	44
Figura 21 <i>Sistema de aspersión de solución detergente – vista de planta</i>	45
Figura 22 <i>Sistema de aspersión de agua – vista frontal</i>	46
Figura 23 <i>Sistema de aspersión de agua – vista de planta</i>	46
Figura 24 <i>Sistema de recirculación – vista isométrica</i>	47
Figura 25 <i>Panel de control eléctrico; vista exterior e interior</i>	48
Figura 26 <i>Diagrama de funcionalidad del sistema</i>	49
Figura 27 <i>Circuito de fuerza - energización y puesta en marcha de sistema</i>	51
Figura 28 <i>Programación Ladder - energización y puesta en marcha de sistema</i>	52
Figura 29 <i>Circuito de fuerza – sistema en funcionamiento</i>	53
Figura 30 <i>Programación Ladder - Sistema lavado completo</i>	54
Figura 31 <i>Selección de tipo de actuador</i>	73

Figura 32 <i>Tipo de equipo a mover</i>	74
Figura 33 <i>Bandas trapezoidales</i>	75
Figura 34 <i>Diámetro de referencia de la polea</i>	76
Figura 35 <i>Potencia de banda</i>	77
Figura 36 <i>Corrección de potencia por proporción de velocidad</i>	77
Figura 37 <i>Corrección por arco de contacto</i>	78
Figura 38 <i>Corrección por longitud de banda</i>	79
Figura 39 <i>Ficha técnica de bomba periférica seleccionada</i>	99
Figura 40 <i>Programación Ladder - sistema de cepillado</i>	106
Figura 41 <i>Circuito de fuerza - sistema de cepillado</i>	107

Índice de tablas

Tabla 1 <i>Resumen del periodo acumulado de Enero a Diciembre del año 2018 a 2024</i>	7
Tabla 2 <i>Tabla de contaminantes</i>	10
Tabla 3 <i>Requisitos funcionales definidos por el cliente</i>	14
Tabla 4 <i>Condiciones actuales del sistema de lavado</i>	14
Tabla 5 <i>Criterios de selección para evaluar las alternativas de solución propuestas</i>	15
Tabla 6 <i>Ponderación de criterios de selección</i>	19
Tabla 7 <i>Ponderación de criterios de evaluación para matriz de decisión</i>	19
Tabla 8 <i>Matriz de decisión para sistema automatizado para el lavado de botas amarillas industriales</i>	19
Tabla 9 <i>Potencia requerida para el giro de un cepillo</i>	21
Tabla 10 <i>Dimensiones de los cepillos</i>	23
Tabla 11 <i>Descripción entradas y salidas sistema principal</i>	28
Tabla 12 <i>Parámetros de entrada - etapa 1</i>	29
Tabla 13 <i>Parámetros de entrada - etapa 2</i>	30
Tabla 14 <i>Características de bomba periférica seleccionada</i>	31
Tabla 15 <i>Listado de entradas y salidas</i>	32
Tabla 16 <i>Principales tipos de sensores de presencia de uso industrial</i>	34
Tabla 17 <i>Especificaciones de PLC Siemens S7-1200 CPU 1214C</i>	35
Tabla 18 <i>Diámetro de eje principal</i>	39
Tabla 19 <i>Diámetro de ejes de suela</i>	39
Tabla 20 <i>Diámetro de eje de cepillo vertical central</i>	39
Tabla 21 <i>Diámetro de cepillos laterales</i>	40
Tabla 22 <i>Tabla de comparación cualitativa por ventaja y desventaja de cada criterio de selección (Alternativa A)</i>	68
Tabla 23 <i>Tabla de comparación cualitativa por ventaja y desventaja de cada criterio de selección (Alternativa B)</i>	69
Tabla 24 <i>Tabla de comparación cualitativa por ventaja y desventaja de cada criterio de selección (Alternativa C)</i>	70
Tabla 25 <i>Disolución de detergente alcalino neutro</i>	80
Tabla 26 <i>Parámetros de rendimiento de la boquilla HH de pulverización de cono lleno</i>	91
Tabla 27 <i>Presión de servicio admisible de tubo de acero inoxidable sin soldadura 304</i>	91

Tabla 28 <i>Pérdidas de fricción aproximada en accesorios de tubería equivalentes de tubería recta</i>	93
Tabla 29 <i>Parámetros de rendimiento de la boquilla H-VV de pulverización plana</i>	94
Tabla 30 <i>Pérdidas de fricción aproximada en accesorios de tubería equivalentes de tubería recta</i>	96
Tabla 31 <i>Pérdidas de fricción aproximada en accesorios de tubería equivalentes de tubería recta</i>	98
Tabla 32 <i>Parámetros iniciales y consideraciones</i>	99
Tabla 33 <i>Resultados etapa 1 (solución agua + detergente)</i>	100
Tabla 34 <i>Resultados etapa 2 (agua)</i>	100
Tabla 35 <i>Resultados etapa 3 (sistema de recirculación)</i>	101
Tabla 36 <i>Comparación: proceso actual (manual) vs. proceso propuesto (automatizado)</i>	101
Tabla 37 <i>Comparación: capacidad de limpieza por hora</i>	101

Capítulo 1

1.1 Introducción

La economía ecuatoriana depende significativamente de sus exportaciones, un sector que enfrentó grandes retos con la pandemia de COVID-19 [1]. Aunque industrias como el banano y el cacao se vieron afectadas, la camaronera evidenció una resiliencia notable, liderando las exportaciones no petroleras en 2022 con un crecimiento del 37% en valor, alcanzando US\$7 289 millones y consolidándose como un pilar clave de la balanza comercial [2], [3]. Este desempeño se atribuye al aumento de la producción, potenciado por la creciente demanda global y la integración de tecnologías avanzadas [4].

El éxito del camarón ecuatoriano, incluso en escenarios adversos, radica en su compromiso con la bioseguridad e inocuidad. Estrictos protocolos han garantizado la calidad exigida en más de 60 mercados internacionales, consolidando su reputación [5]. Las condiciones geográficas favorables, combinadas con procesos de mejora continua, han posicionado al camarón como líder en exportaciones no petroleras, destacando por su calidad y competitividad [6], [7].

En este contexto, las plantas procesadoras de camarón priorizan el control de ingreso y salida del personal para evitar contaminantes externos. Actualmente, el proceso de limpieza y desinfección de botas previo al ingreso se realiza de forma manual. Sin embargo, este procedimiento depende de la responsabilidad y habilidad de cada operario, lo que provoca una alta variabilidad en la calidad de la limpieza, demoras en el ingreso, formación de colas y un uso ineficiente de los recursos.

Ante esta problemática, en la presente tesis se desarrolló el diseño de un sistema automatizado para el lavado de botas amarillas para su limpieza y desinfección. Esta propuesta busca optimizar el proceso de ingreso del personal, asegurar su limpieza y desinfección, reducir tiempos de espera y mejorar la gestión de recursos, fortaleciendo los protocolos de bioseguridad de la industria camaronera y disminuyendo el tiempo total de ingreso del personal por jornada.

1.2 Descripción del problema

En Ecuador la Agencia de Regulación, Control y Vigilancia Sanitaria (ARCSA) estipula en la resolución 067 artículo 80 que la higiene y cuidado personal de los individuos encargados de manipular de manera indirecta o directa los alimentos es obligación de cada empleado, esto incluye correcto lavado y desinfectado de utensilios, el uso correcto de los uniformes y equipos de protección que se utilicen durante el proceso de manufactura. En un entorno donde se producen alimentos cada empleado es un eslabón vital en la cadena de inocuidad, por lo que protocolos de limpieza estrictos son esenciales para asegurar un producto que cumpla con estándares de seguridad alimenticia.

El ingreso a la planta es un punto crítico para la propagación de contaminantes, esta zona requiere de un área de desinfección adecuada debido a que manos, calzado y la vestimenta son comunes vectores de virus y bacterias [8]. Algunos microorganismos como Salmonella y E. Coli, componentes químicos como detergentes y lubricantes son propensos a ser transportados por el calzado o la vestimenta [9].

El riesgo que supone la conciencia individual de cada empleado demuestra la importancia de un sistema de control más eficaz que garantice el cumplimiento y la efectividad de los procesos de higiene en el ingreso de la planta, minimizando así la variabilidad humana y estandarizando un proceso tan importante para la inocuidad.

1.3 Justificación del problema

Una empresa camaronera de mediana escala, con su planta de producción a las afueras de General Villamil Playas en la provincia del Guayas considera que los métodos de desinfección de botas con los que cuentan pueden no ser muy efectivo por lo que representa un riesgo para la inocuidad de los procesos que realizan. A la entrada de su planta presentan una estación de

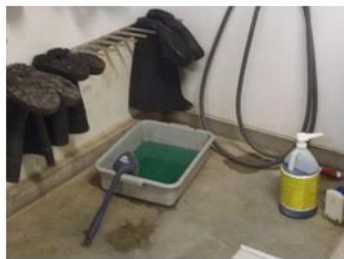
limpieza donde cada uno de los operadores realiza el respectivo lavado de manos y botas previo al ingreso.

Figura 1

Limpieza y desinfección de calzado, pasos para minimizar la propagación de enfermedades por el calzado



1. Las botas o el calzado sucios pueden propagar enfermedades a otros lugares dentro o fuera de la granja.



2. Designa un espacio específico donde se pueden limpiar y desinfectar las botas. Coloca todos los suministros (detergente, agua) necesarios a mano.



3. Enjuaga toda la suciedad visible de las botas. La mayoría de los desinfectantes no son efectivos cuando hay suciedad y estiércol.



4. Lava las botas con una solución de jabón o detergente. Usa un cepillo para fregar bien las grietas de las suelas.



5. Enjuaga el detergente de las botas. Algunos desinfectantes son desactivados por los jabones y detergentes.



6. Aplica la solución desinfectante en las botas. Deja que la solución actúe en la superficie de las botas por todo el tiempo de contacto indicado.

El proceso estandarizado actual consiste en 5 etapas realizadas de manera manual. Acorde a la Figura 1 en el paso 3 (etapa 1), las botas son humedecidas mediante el uso de una manguera con una pistola de agua con chorro a presión, no se sumerge la bota en agua. A continuación, como se muestra en el paso 4 (etapa 2 y 3), se rocía una solución de jabón o detergente alcalino sobre las botas y se restriegan utilizando un cepillo para limpiar a fondo su superficie. Posteriormente en el paso 5 (etapa 4), se procede al enjuague con agua. El paso 6 (etapa 5) de desinfección se realiza en una tina con una solución diluida de amonio cuaternario en agua, donde se humedecen las botas. El desinfectante puede aplicarse mediante rociado o con un cepillo, asegurando una cobertura uniforme. Posteriormente, se deja actuar la solución sobre la superficie de las botas

durante el tiempo requerido. La solución diluida es vaciada al drenaje tras 25 a 40 ciclos de lavado o cuando presente signos evidentes de contaminación.

Este proceso se realiza de manera individual y no cuenta con ningún mecanismo de control que pueda asegurar una ejecución de la limpieza. Así mismo la técnica, tiempo o cobertura de la limpieza no pueden ser verificados por lo que la efectividad del proceso depende únicamente del comportamiento del usuario. Este sistema genera una alta variabilidad en un aspecto muy importante para la inocuidad del proceso, pudiendo llegar a comprometer la seguridad alimentaria, la calidad del producto y el cumplimiento de las normas nacionales e internacionales de sanidad.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Diseñar un sistema automatizado para el lavado y sanitización de botas amarillas industriales, mediante la selección de componentes mecánicos, electrónicos e hidráulicos que cumplan normativas de seguridad e higiene, para garantizar una limpieza completa de botas previo al acceso a plantas de producción de camarón.

1.4.2 Objetivos específicos

Analizar los requisitos de higiene y las necesidades operacionales para un sistema de lavado y desinfección de botas amarillas industriales en plantas de producción de camarón de mediano a pequeño tamaño en Ecuador.

Establecer las fases de lavado y desinfección para el proceso automatizado de botas, definiendo los tiempos de cada etapa garantizando autonomía y seguridad.

Desarrollar el diseño conceptual y técnico del sistema automatizado, que detalle su estructura mecánica, control electrónico e hidráulico.

Especificar los materiales y componentes (mecánicos, electrónicos e hidráulicos) para el sistema de lavado de botas, considerando su manufactura local y el cumplimiento de las normativas de seguridad e higiene para la industria alimentaria en Ecuador.

1.5 Marco teórico

La industria camaronera ecuatoriana se ha consolidado como un pilar económico nacional, destacándose por sus niveles de exportación y cumplimiento de normativas internacionales [10]. Este marco teórico analiza la evolución económica de las exportaciones, el protagonismo del camarón, las normativas de inocuidad alimentaria, los estándares de diseño higiénico en equipos, los procesos de bioseguridad en plantas y las tecnologías de limpieza, elementos fundamentales para garantizar competitividad en los mercados globales.

1.5.1 Exportaciones globales y el contexto económico de Ecuador

La balanza comercial ecuatoriana ha mostrado una evolución destacable entre 2019 y 2024, impulsada por las exportaciones petroleras y no petroleras. En 2021, las exportaciones totales alcanzaron un récord de US\$26,669 millones, superando el máximo de 2014 (US\$25,724 millones). De este total, US\$8,607 millones correspondieron a exportaciones petroleras, con un incremento del 64% respecto a 2020, mientras que las no petroleras sumaron US\$18,092 millones, un aumento del 23% frente a 2020 y del 33% frente a 2019 [11].

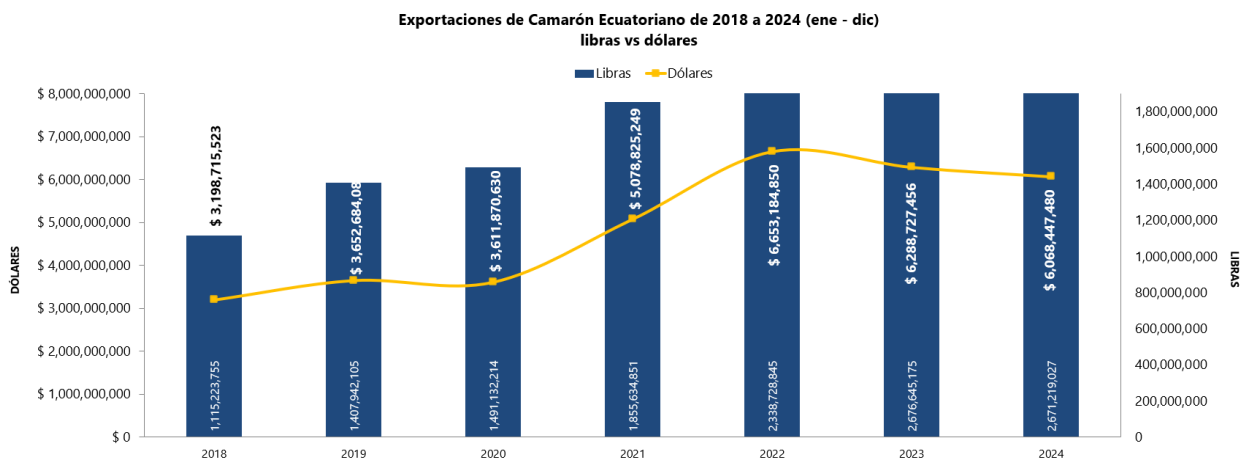
En 2024, el camarón ecuatoriano consolidó su liderazgo exportador al llegar a 78 países, destacando su calidad reconocida mundialmente [12]. China absorbió el 54% de las exportaciones, con un valor de US\$1 318.7 millones (20.2% del total). Europa también fue clave, en España, Francia e Italia como principales compradores. Además, países de América Latina, como Guatemala y Chile, forman parte de esta expansión.

1.5.2 El camarón como el principal producto en las exportaciones no petroleras tradicionales en Ecuador

El camarón se ha consolidado como el principal producto no petrolero de exportación tradicional de Ecuador, impulsando un significativo dinamismo económico en el primer trimestre de 2021. Este sector generó aproximadamente 200,000 empleos y un aumento de 15% en divisas (US\$ 3,823.53 millones) en 2020, contribuyendo con el 3.89% al PIB nacional [[13].

Figura 2

Análisis de exportaciones de camarón del año 2024 en Ecuador



Nota. Datos obtenidos del reporte de exportaciones ecuatorianas totales de 2024 [14].

Como se puede observar en la Figura 2, a lo largo de todo el periodo de estudio se resalta que, en 2020, las exportaciones de camarón experimentaron un crecimiento del 5.91% en libras, alcanzando un valor de US\$3,611 millones, pese a la pandemia. Esto se debe a la inversión en investigación, mejora genética y optimización de procesos [15].

Tabla 1

Resumen del periodo acumulado de Enero a Diciembre del año 2018 a 2024

Resumen del periodo acumulado				
Período	Libras	Dólares	Libras Variación %	Dólares Variación %
ene-dic 2018	1,115,223,755	\$3,198,715,523	—	—
ene-dic 2019	1,407,942,105	\$3,652,684,081	26.25%	14.19%
ene-dic 2020	1,491,132,214	\$3,611,870,630	5.91%	-1.12%
ene-dic 2021	1,855,659,283	\$5,078,888,773	24.43%	40.62%
ene-dic 2022	2,338,724,875	\$6,685,184,448	26.03%	31.60%
ene-dic 2023	2,676,645,175	\$6,288,727,456	14.45%	-5.48%
ene-dic 2024	2,671,219,027	\$6,068,447,480	-0.20%	-3.50%

Nota. Datos tomados de Camara de Comercio [3]

La recuperación fue notable en 2021, como se muestra en la Tabla 1, con aumentos del 24.45% en libras y 40.62% en dólares, llegando a US\$5,078 millones, y esta tendencia ascendente prosiguió en 2022, con incrementos del 26.03% en libras y 31.00% en dólares, totalizando US\$6,653 millones. Aunque en 2023 el valor de dólares retrocedió un 5.48%, el volumen en libras continuó creciendo un 14.45%, para luego observar en 2024 una ligera contracción tanto en el volumen (-0.20% libras) como en valor (-3.50% en dólares), sumando US\$6,068 millones.

En el contexto global, el camarón ecuatoriano se consolidó como líder en exportaciones no petroleras, alcanzando en 2022 más de 1 500.000 de toneladas exportadas, con un valor cercano a US\$6 685 millones [16]. Según la BBC, Ecuador se posicionó como el mayor exportador mundial, destacando por la calidad y sostenibilidad de su producto [17]. Sin embargo, enfrentó competencia de países como India y Vietnam, con costos de producción más bajos.

1.5.3 Inocuidad alimenticia y normativas internacionales

La inocuidad alimentaria es primordial para el sector camaronero de Ecuador, facilitando el acceso a mercados clave como China y Estados Unidos. Certificaciones internacionales como HACCP (Subcapítulo B del CFR) e ISO 22000 validan la calidad y seguridad del producto [18]. Post-COVID-19, se han reforzado estrategias, incluyendo la alianza entre la FDA de Estados Unidos y Ecuador firmada en 2023 representando un compromiso mutuo para mejorar la seguridad de las importaciones de camarón [19].

El subcapítulo B, parte 123 de la eCFR, regula la seguridad alimentaria en la producción de alimentos pesqueros donde especifica lineamientos específicos para la práctica de higiene y sanitización de plantas de procesos. El artículo 123.5, que exige el uso de indumentaria y calzado adecuados, además del control de accesos para evitar la contaminación del producto. A su vez, el artículo 123.11 establece la implementación de Procedimientos Operativos Estándar de Sanitización (SSOP), con protocolos escritos de limpieza que incluyen medidas detalladas para la higiene personal y la gestión de accesos en áreas críticas [20].

Las medidas de higiene del personal y la indumentaria adecuada (botas, gorros y guantes) es indispensable para prevenir la contaminación cruzada [21], así mismo, el lavado y desinfección de botas en los puntos de acceso a las plantas de producción y laboratorios. Estas prácticas están alineadas con normativas estrictas como las Buenas Prácticas de Manufactura actuales de la FDA (21 CFR Part 117) [22] y las regulaciones generales de higiene para la producción de alimentos de China [23].

1.5.4 Estándares para el diseño higiénico de equipos en la industria alimentaria en Ecuador

En la industria alimentaria, especialmente en la fabricación de equipos de limpieza como lava-botas, se emplean materiales que cumplen con estándares sanitarios rigurosos. El acero inoxidable de la serie AISI 300, principalmente AISI 304 y AISI 316, es el material recomendado por normas como los estándares 3-A Sanitary Standards, que establecen que las superficies en contacto con alimentos deben estar libres de aleaciones tóxicas, resistentes a corrosión y fácil limpieza, alineados con especificaciones ASTM A959/AISI para 304/316 [24].

Así mismo, la norma NSF/ANSI 51, aplicable a materiales para equipos de procesamiento de alimentos, requiere que el acero inoxidable contenga al menos 16 % de cromo y tenga un acabado superficial adecuado (No. 4 para contacto directo o No. 2B para usos utilitarios) [25]. Para un mantenimiento óptimo, se recomienda limpieza frecuente con detergentes suaves, evitar agentes abrasivos o cloruros agresivos, y realizar inspecciones regulares para prevenir incrustaciones y asegurar la pasivación de la capa protectora del cromo [26].

1.5.5 Proceso de limpieza y bioseguridad en el acceso a plantas de producción alimentaria

Para un correcto lavado de botas dentro de la industria alimenticia es importante eliminar cualquier bacteria o contaminante que pueda poner en peligro la inocuidad. Para realizar una desinfección adecuada se deben de realizar los pasos que recomienda la FDA y HACPP en los que mencionan que es importante restregar, desengrasar, enjuagar y desinfectar. Para el restriegue se debe utilizar un cepillo cuyas cerdas sean de material de grado alimenticio, para desengrasar se

utiliza una solución alcalina mientras que para el enjuague y desinfección una solución de amonio cuaternario. Estudios revelan que existe una significativa cantidad de bacterias residuales en las botas cuando solo se realiza una remoción en comparación a cuando se realiza una remoción y un cepillado apropiado [27].

Tabla 2

Tabla de contaminantes

Treatment (n=5)	Mean bacterial count / 75-mm ² area	Standard deviation	95% Confidence Interval Lower Bound	95% Confidence Interval Upper Bound
No boot bath	5.6×10^{7a}	3.3×10^7	3.7×10^7	7.5×10^7
Stand in 1Stroke				
Environ® for 2 minutes	4.5×10^{2b}	3.0×10^2	2.6×10^2	6.4×10^2
Scrub in 1Stroke				
Environ® for 30 seconds	4.6×10^{2b}	278	-1.9×10^2	1.1×10^3
Scrub in water for 30 seconds	4.5×10^{6b}	6.0×10^6	-1.9×10^7	1.9×10^7
Scrub in water and step in 1Stroke	2.5×10^{5b}	5.6×10^5	-1.8×10^5	1.9×10^6
Environ				

Nota. Datos tomados de [28]

1.5.6 Tecnologías utilizadas en sistemas automáticos de limpieza

En la actualidad existen diferentes máquinas de lavado de botas industriales, su mayor diferencia es en tamaño, capacidad y alcance. Algunos modelos pueden limpiar toda la bota hasta la parte alta, otros modelos se especializan en limpiar solamente la suela. Todos estos equipos aseguran brindar mayor eficiencia al proceso de entrada a la planta, teniendo una capacidad de alrededor de 10-20 personas por minuto dependiendo del modelo.

Los equipos modernos de limpieza implementan sistemas automáticos de cepillado, esto reduce la variabilidad y asegura que todas las botas sigan el mismo proceso riguroso de lavado. Son fabricados en acero inoxidable o materiales resistentes a la corrosión, esto los hace perfectos para ambientes húmedos, utilizando diseños modulares lo que permite una correcta integración en entradas o zonas de transición entre etapas de producción. Estos nuevos equipos juegan un rol importante en el cumplimiento de normas como la de GFSI (Global Food Safety Initiative) e ISO 22000 que hacen énfasis en control preventivo, por lo que usan ciclos temporizados de desinfección reduciendo riesgo de contaminación. Así mismo se implementan sistemas de registro y control para conocer la frecuencia de lavado, la cantidad de desinfectante disponible y mantenimientos programados, permitiendo a auditores poder revisar estos registros para verificar el cumplimiento de normas durante inspecciones [29].

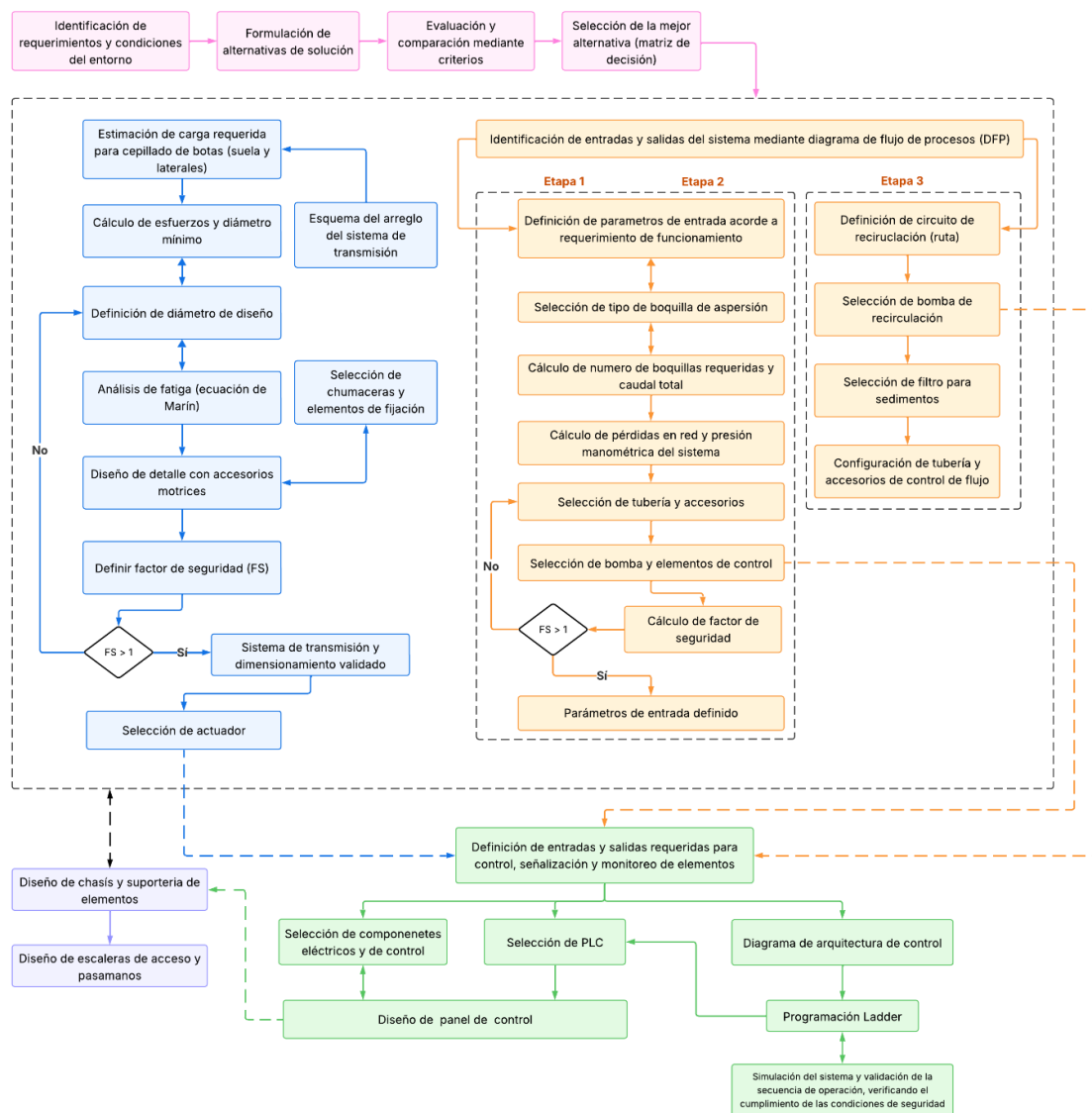
Capítulo 2

2.1 Metodología

Este capítulo expone la metodología de diseño empleada, representada en la Figura 3. El proceso inicia con la identificación de requerimientos y condiciones del entorno, seguido del desarrollo de los subsistemas mecánico, hidráulico, de control y eléctrico-electrónico. Finalmente, se realiza la simulación y validación, asegurando cumplimiento de objetivos

Figura 3

Diagrama de metodología de diseño



Nota. Requerimientos (rosado), sistema mecánico (azul), sistema hidráulico (naranja), sistema control (verde) y soportaría de la maquina (morado)

2.1.1 Requerimientos de diseño y condiciones del entorno

Durante la visita técnica realizada a la planta de procesamiento se recolectó información relacionada con los requisitos funcionales del sistema y las condiciones físicas del acceso a la planta de producción. A continuación, se detalla los resultados obtenidos.

Tabla 3

Requisitos funcionales definidos por el cliente

Requisito	Descripción
Funcionalidad	Cumplir 5 pasos de lavado de calzado acorde a sus BPM (Pre-enjuague (agua), lavado con detergente, cepillado, enjuague final, desinfección)
Capacidad de ingreso	Hasta 250 personas en 30 min en condiciones normales
Reducción de recursos	Disminución de consumo de agua y químicos en al menos 30% respecto al sistema actual
Consumo estimado por 250 personas (referencia actual)	Agua total: 610.1 L Detergente: 6 L Desinfectante: 0.51 L

Nota. Datos técnicos según análisis de consumo documentado. Ver apéndice A

Tabla 4

Condiciones actuales del sistema de lavado

Condición	Descripción
Flujo de personal estimado	350 – 500 personas por turno
Capacidad de ingreso	250 personas en 45 min. Capacidad de 4 - 5 de 5 estaciones activas durante ingreso
Espacio disponible	2.10 m x 5.0 m (10 m ²)

Condición	Descripción
Piscina de desinfección	1.6 m x 5.0 m, profundidad 4 cm; volumen: 256 L
Frecuencia de vaciado	Clima cálido: cada 250 personas Clima lluvioso: cada 180 personas
Desinfectante utilizado	Amonio Cuaternario 10%, dosis 2 mL/L de agua
Agua utilizada para desinfección por persona	1.02 L/persona
Agua y solución detergente para limpieza (L/persona)	0.46 (agua) y 0.024 (detergente)
Agua para enjuague	0.96 L/persona

Nota. Datos tomados de visita técnica en sitio.

2.2 Alternativas de solución

Con base en los requerimientos funcionales del sistema de limpieza para botas industriales, se formularon tres alternativas de solución. Se definieron los siguientes criterios de selección, descritos brevemente en la Tabla 5.

Tabla 5

Criterios de selección para evaluar las alternativas de solución propuestas

Criterio	Descripción
Limpieza	Efectividad en la remoción de residuos y agentes contaminantes de las botas, considerando el alcance de limpieza y las superficies abordadas
Facilidad de uso	Se consideró la interacción del operario con el equipo, priorizando sistemas intuitivos, seguros y con mínima necesidad de supervisión
Eficiencia	Relación entre el tiempo de operación por ciclo de lavado y el consumo de recursos como agua, energía y agentes químicos
Dimensiones	Se evaluó el espacio requerido para la instalación y operación del equipo, priorizando que sea compacto y adaptable a zonas de acceso
Mantenimiento	Se analizó la frecuencia, facilidad y costo asociado al mantenimiento preventivo y correctivo del sistema

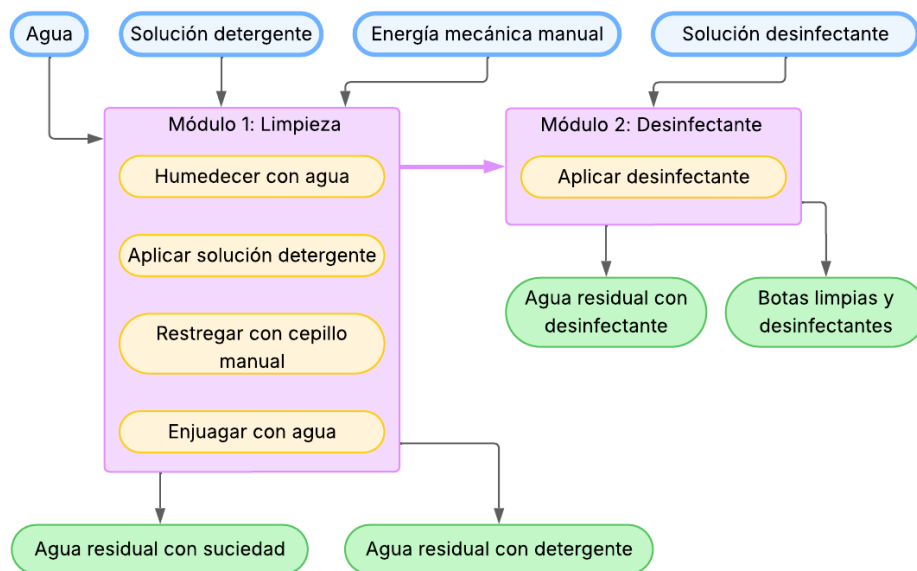
2.2.1 Alternativa A: Sistema de limpieza en módulos

Esta alternativa consistió en el diseño de un sistema de limpieza segmentado en dos módulos independientes con estructura cúbica autoportante, abierta frontalmente para el acceso de un pie a la vez, donde la base de apoyo del pie es un aplancha perforada e inclinada para el drenaje de residuos y líquidos. El primer módulo incorporó una cabina con accesorios colgados: una ducha teléfono, un dispensador de solución detergente y un cepillo manual, permitiendo realizar manualmente las etapas de humedecimiento (agua), aplicación de detergente, cepillado y enjuague.

El segundo módulo contiene un sistema de pulverización manual para aplicar desinfectante únicamente en la suela y empeine de la bota. La separación de los módulos como independientes responde al uso de sustancias químicas incompatibles y uso consciente de recursos.

Figura 4

Diagrama funcional del proceso de limpieza y desinfección (Alternativa A)

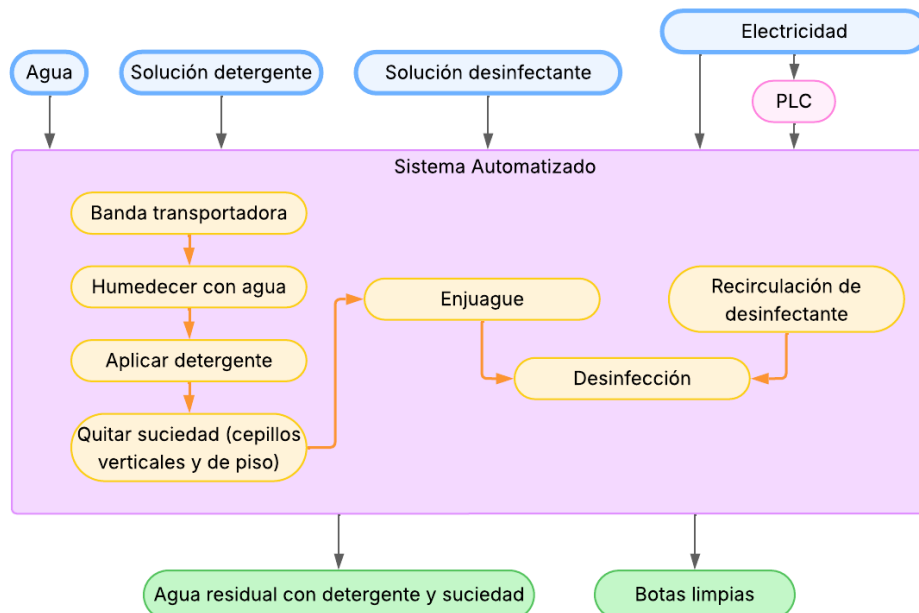


2.2.2 Alternativa B: Línea continua de lavado y desinfección con banda transportadora

Esta propuesta consistió en un equipo compacto en línea continua con seis fases automatizadas de lavado y desinfección, integradas sobre una banda transportadora con malla de acero inoxidable. El operario colocaba los pies sobre la banda, que lo desplazaba a velocidad constante mientras sensores de presencia activaban el sistema. El lavado se realizaba mediante boquillas a presión conectadas a bombas hidráulicas que aplicaban agua, detergente y desinfectante. La limpieza se complementaba con cepillos cilíndricos motorizados, ubicados en vertical y horizontal, capaces de cubrir suelas de hasta 34 cm. Cada componente tenía su propio actuador eléctrico, controlado por un PLC Siemens. Además, se implementó un circuito de recirculación y filtrado del desinfectante, y el sistema podía atender hasta tres operarios simultáneamente.

Figura 5

Diagrama funcional del proceso de limpieza y desinfección (Alternativa B)



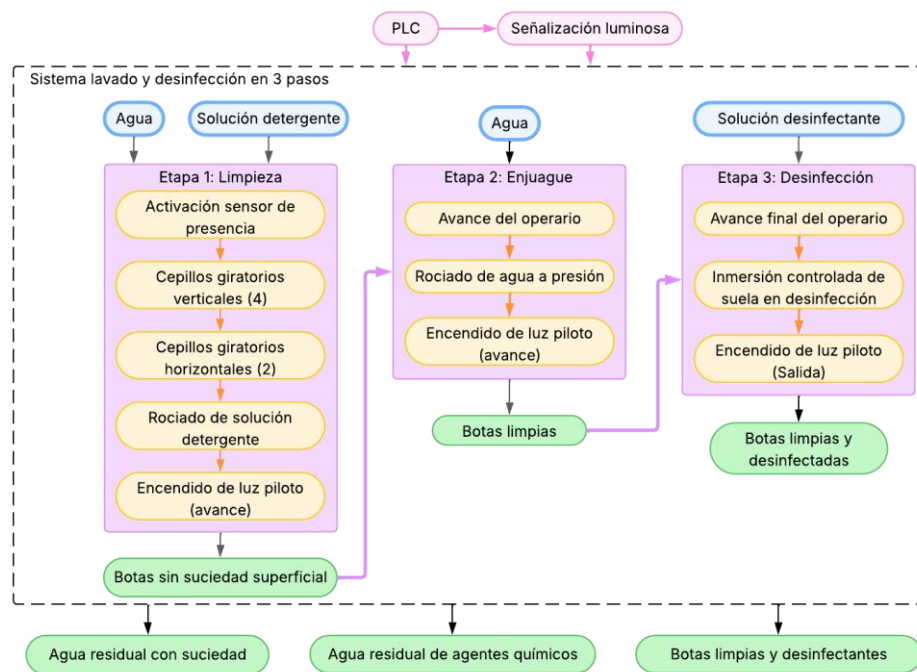
2.2.3 Alternativa C: Sistema de lavado en 3 etapas

La tercera alternativa propuso un equipo compacto de tres fases secuenciales, operado manualmente por el usuario y guiado por luces piloto. En la primera fase, el operario permanecía

sobre una rejilla mientras cepillos cilíndricos (cuatro verticales y dos horizontales) limpiaban botas con apoyo de rociado con detergente. Luego, avanzaba para un enjuague con agua a presión. En la última fase, sumergía la suela en una cubeta con desinfectante. Un PLC controlaba bombas, tiempos y señalización, apoyado por sensores de presencia. El sistema permitía operar con hasta dos usuarios en paralelo.

Figura 6

Diagrama funcional del proceso de limpieza y desinfección (Alternativa C)



2.2.4 Comparación de criterios de selección

Los criterios de selección establecidos son limpieza (L), facilidad de uso (F), capacidad (C), dimensión (D) y mantenimiento (M), se compararán para determinar su grado de importancia con valores entre cero y uno como se muestra en la Tabla 6. En cada comparación, si el criterio de la columna es más importante que el de la fila, se le asigna un valor de uno (1); si ambos tienen la misma importancia, se asigna un valor de 0.5; y si el criterio de la columna es menos importante, se asigna un valor de cero (0).

Tabla 6*Ponderación de criterios de selección*

Criterio	L	F	C	D	M	Σ	Ponderación
L	—	1	1	1	1	5	0.33
F	0	—	0.5	1	1	3.5	0.23
C	0	0.5	—	0	1	2.5	0.16
D	0	0	1	—	0.5	2.5	0.16
M	0	0	0	0.5	—	1.5	0.1
Total						15	1

Nota. L: Limpieza, F: Facilidad de uso, C: Capacidad, D: Dimensiones, M: Mantenimiento

Según los resultados, el criterio más importante es Limpieza, seguido por Facilidad de uso. Capacidad y Dimensión tienen igual nivel de importancia, mientras que Mantenimiento es el criterio con menor peso relativo.

$\text{Limpieza} > \text{Facilidad de uso} > \text{Capacidad} = \text{Dimensión} > \text{Mantenimiento}$

2.2.5 Matriz de decisión

Se realizó la matriz de decisión,

Tabla 8, utilizando criterios de evaluación del uno a tres como se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7*Ponderación de criterios de evaluación para matriz de decisión*

Ponderación	Criterio evaluación
3	Bueno
2	Regular
1	Malo

Tabla 8*Matriz de decisión para sistema automatizado para el lavado de botas amarillas industriales*

Alternativas de solución	Ponderación y resultados	L (0.33)	F (0.23)	C (0.16)	D (0.16)	M (0.10)	Total
Solución A	Ponderación	2	1	1	3	2	

Alternativas de solución	Ponderación y resultados	L (0.33)	F (0.23)	C (0.16)	D (0.16)	M (0.10)	Total
Solución B	Resultado	0.66	0.23	0.16	0.48	0.2	1.73
	Ponderación	3	2	1	1	1	
	Resultado	0.99	0.46	0.16	0.16	0.1	1.87
Solución C	Ponderación	3	2	3	2	2	
	Resultado	0.99	0.46	0.48	0.32	0.2	2.45

Nota. L: Limpieza, F: Facilidad de uso, C: Capacidad, D: Dimensiones, M: Mantenimiento.

Como resultado de la ponderación entre alternativas de solución y criterios de selección, la solución C: sistema de lavado en 3 etapas es la ganadora.

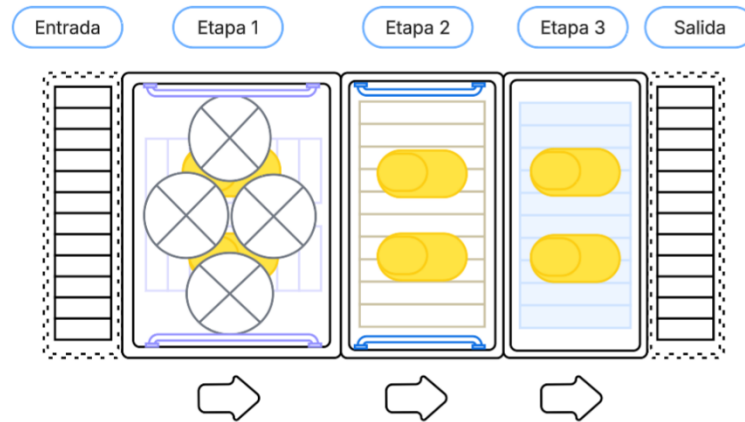
2.3 Diseño conceptual

El diseño considera un sistema compacto con tres fases secuenciales. El operario avanza un paso entre fases, manteniendo una postura erguida y estable. Cada fase corresponde a una etapa del proceso de limpieza: cepillado con detergente, enjuague con agua a presión e inmersión de la suela en desinfectante. Para definir las distancias entre etapas, se consideraron parámetros ergonómicos relacionados con estabilidad. Se determinó, mediante medición experimental, que la separación entre pies en posición erguida varía entre 18 y 22 cm, y una zancada estable promedia 62 cm. Estas medidas aseguran que el diseño favorezca la postura natural del cuerpo y evite movimientos inseguros o forzados.

Con base en estos valores, se definió una longitud útil de 1.20 m, permitiendo ubicar las tres fases en línea recta, con margen adicional para separar zonas químicas y alojar mecanismos y drenajes. El ancho útil se fijó en 0.9 m, suficiente para un uso cómodo y para integrar los sistemas mecánicos. Además, se incorpora un escalón de ingreso y salida, que aísla del suelo exterior y regula el acceso, contribuyendo al control del flujo de operarios y la higiene del entorno.

Figura 7

Diseño conceptual de etapas principales del sistema



2.4 Diseño sistema de transmisión

2.4.1 Selección del motor

El mecanismo de cepillado utiliza 5 cepillos: 2 para las suelas y 3 laterales. Para estimar la potencia de cada cepillo se utilizó como referencia un equipo de cepillado de piso, este equipo utiliza un cepillo similar al que se busca implementar al sistema. Las especificaciones del equipo se muestran en la Tabla 9.

Tabla 9

Potencia requerida para el giro de un cepillo

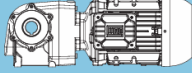
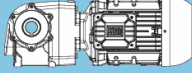
Modelo		BA 340
Potencia nominal del cepillo	W	260

Nota. Potencia referencia acorde a aplicación de manual de scrubber dryer [30].

Tomando este valor como referencia podríamos estimar que para 5 cepillos se requiere de 1.3 Kw de potencia. La velocidad de cepillado será de 300 rpm, ya que el proceso durará 10 segundos y se necesitan al menos 50 cepillados para una correcta remoción de suciedad. Debido a la dificultad de encontrar un motor con alta potencia y baja velocidad, se optó por un motorreductor. Se seleccionó el motorreductor WEG WCG20 SH02, el cual es ortogonal lo que permite un mejor ensamblaje en la estructura del sistema.

Figura 8

Características de motores WG20

$P_N = 2.0 \text{ hp}$								
60 Hz								
n_{s0} rpm	T_2 lb-in	f_B	i	F_{rt} lb	F_{aH} lb		m lb	Dimension sheet see page
103	1128	0.80	17.00	**	290	 SH032-11P-90S/L-04F	49	550
109	1082	0.80	16.03	**	40			
120	977	0.90	14.67	430	340			
137	855	1.00	12.80	490	360			
140	850	1.00	12.52	520	180			
187	632	1.25	9.39	610	430			
188	639	1.25	9.35	610	290			
218	552	1.40	8.07	630	340			
249	483	1.60	7.04	650	360			
340	356	1.95	5.17	670	430			

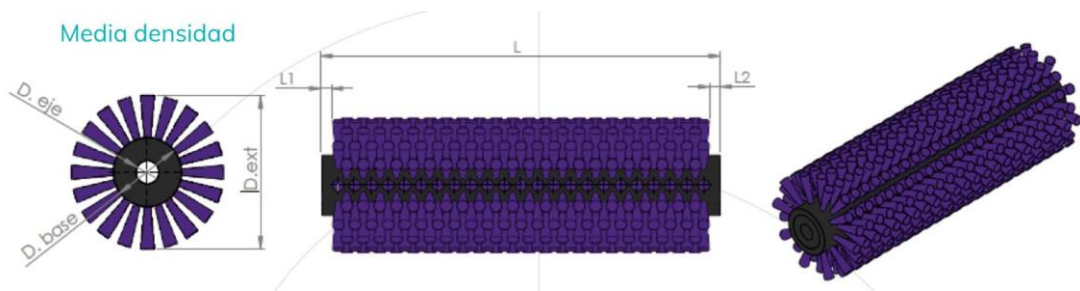
Nota. Imagen tomada del catálogo de motores WEG WG20 [31].

2.4.2 Dimensión de cepillo

Los cepillos por utilizar serán de media densidad. Estos son menos pesados y tienen menos cerdas por área, lo que los hace muy efectivos para la remoción de suciedad en la superficie. Para seleccionar el cepillo adecuado, es necesario definir 5 medidas principales que se muestran en la Figura 9: los diámetros del eje, de la base y exteriores, así como la longitud del cepillo y la longitud adicional que tendrá la base del cilindro por fuera del cepillo.

Figura 9

Dimensiones de cepillo de tipo rodillo



Nota. Esquema de dimensiones según fabricante [32].

Para seleccionar estos valores se tomó como referencia las dimensiones de una bota industrial amarilla talla 39 se muestran en la Figura 10. Con base en estas medidas se puede definir

las dimensiones necesarias que debe tener cada sección del cepillo para poder tener una limpieza correcta de la bota.

Figura 10

Dimensiones de bota industrial talla 39



Nota. Figura tomada de catalogo comercial[33].

Tabla 10

Dimensiones de los cepillos

	Cepillo lateral	Cepillo de suela
Diámetro de eje	20	20
Diámetro base	50	50
Diámetro exterior	180	180
Longitud de cepillo	300	250
L2	20	20

2.4.3 Sistema de transmisión

Para la transmisión de potencia del sistema se requiere de un sistema que sea bajo en vibraciones, que requiera poca lubricación y que tenga una alta eficiencia. Bajo estos parámetros se decidió por escoger un sistema de bandas y poleas.

Debido a que se desea utilizar un solo motor para los cepillos de las suelas y para los cepillos laterales, y estos se ubican en planos perpendiculares, se va a aplicar un engranaje cónico para poder transmitir potencia a todos los cepillos. Como todas las relaciones de velocidades son de 1:1 el número de dientes del piñón y el engrane son iguales, de la misma forma el diámetro de todas las poleas.

La distribución de las poleas tiene que considerar el grosor y la longitud de los cepillos, para así saber que distancia deben tener entre las poleas de los cepillos de las suelas y las poleas de los cepillos laterales obteniendo la distribución mostrada en la Figura 11 y

Figura 12.

Figura 11

Organización de poleas A

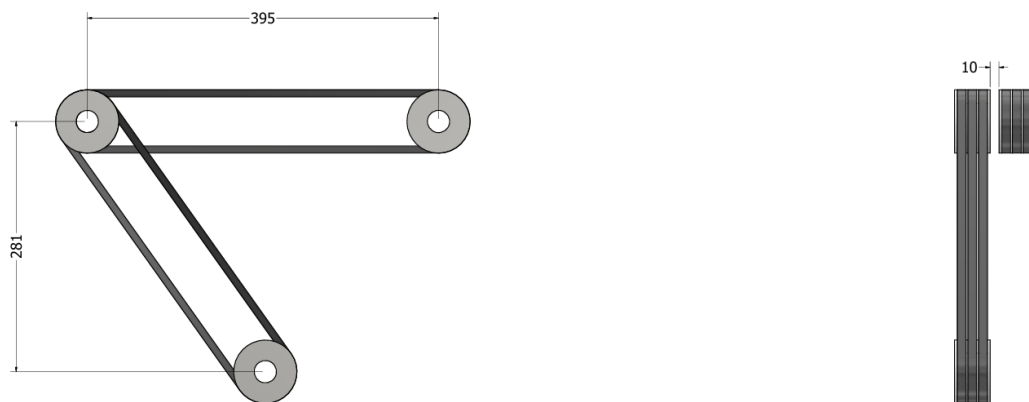
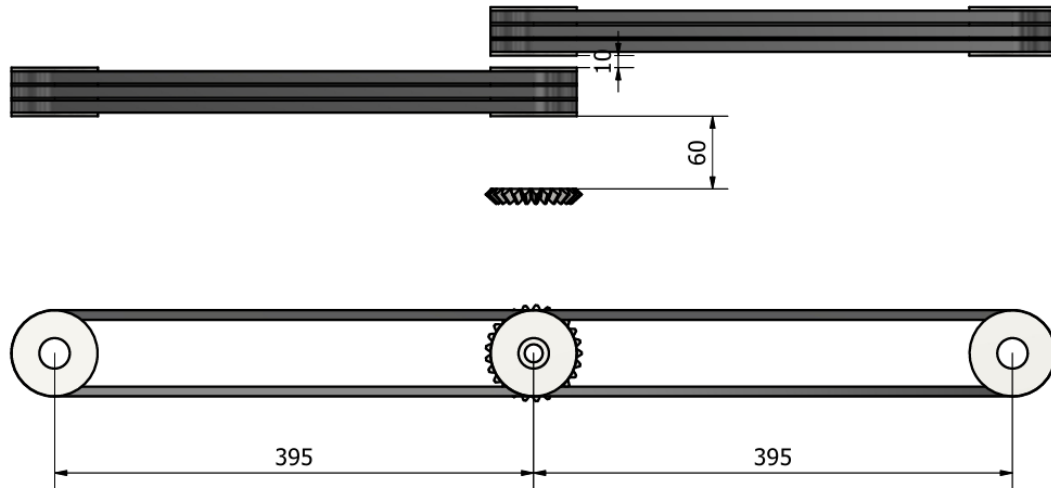


Figura 12

Organización de poleas B



Utilizando el manual de SKF se seleccionó el diámetro de las poleas, la longitud de las bandas y la distancia entre los centros de las poleas. El proceso completo se puede revisar en el apéndice B. Se seleccionó una banda trapezoidal tipo SPZ (Figura 13), esta banda es más angosta que una banda trapezoidal común y es efectiva para sistemas de transmisión de alta velocidad y poco torque.

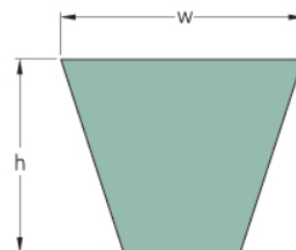
Figura 13

Banda SPZ1000



Belts
Wedge SPZ
PHG SPZ1000

Belt marking	SPZ1000
No. of ribs	1
Pitch length (mm)	1000
Effective length (in)	39.4
w = Width (mm)	9.7
h = Height (mm)	8



Nota. Imagen tomada del catálogo virtual de SKF [34]

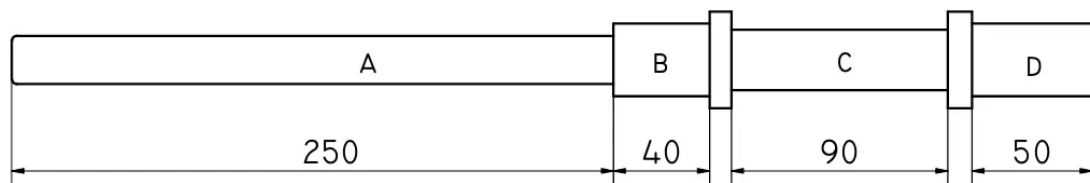
2.4.4 Dimensionamiento de ejes

El diseño de las poleas comienza con la definición de las longitudes de las secciones. Todos los ejes contarán con al menos 4 secciones: 2 para los rodamientos, una para la polea y una para el cepillo. Dos de los ejes tendrán una sección adicional para incorporar el engranaje cónico.

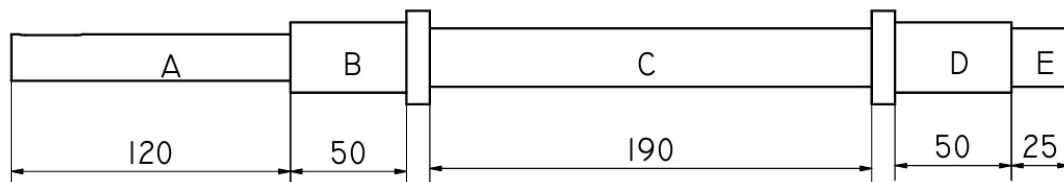
Para definir estas longitudes, es necesario considerar el grosor de los elementos que contendrán. Las poleas comerciales SKF de 67 mm de diámetro para bandas tipo SZP tienen un grosor de 40 mm, mientras que las chumaceras tienen un grosor promedio de 50 mm. La longitud del cepillo es de 250 mm para los cepillos de suela y 300 mm para los laterales. También es importante considerar la organización de las poleas; las secciones de los ejes deben ubicarse correctamente para conectar las poleas entre sí. Además, el sistema de cepillado lateral debe posicionarse en la mitad de los cepillos de suela.

Figura 14

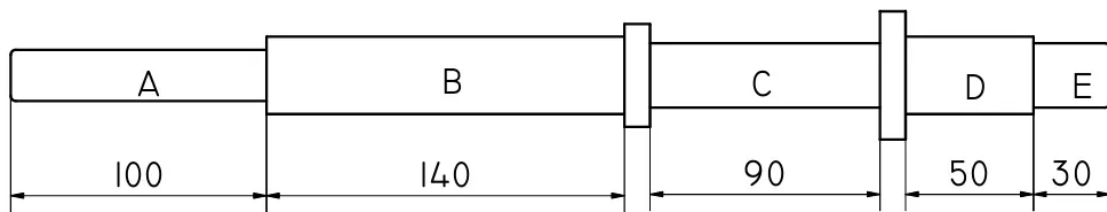
Longitudes de las secciones de ejes



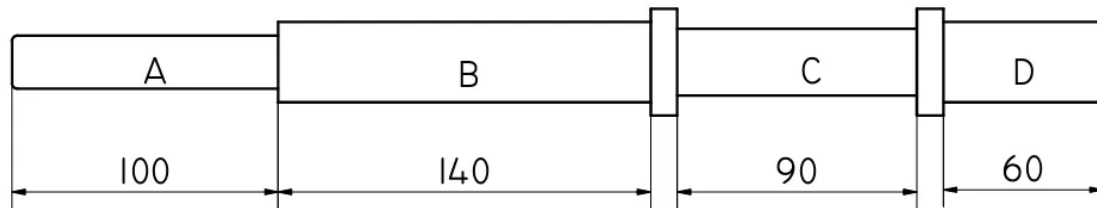
a



b



c



d

Nota. a: Eje principal, b: Eje de cepillo de suela, c: Eje central, d: Eje de cepillo lateral.

Los dos cepillos laterales tendrán las mismas dimensiones restando la sección del engranaje cónico. Se utilizará acero inoxidable AISI 420 para todos los ejes debido a su excelente resistencia a la corrosión en ambientes húmedos y su adecuada resistencia mecánica para las cargas previstas.

2.5 Sistema hidráulico y dosificación de agentes químicos

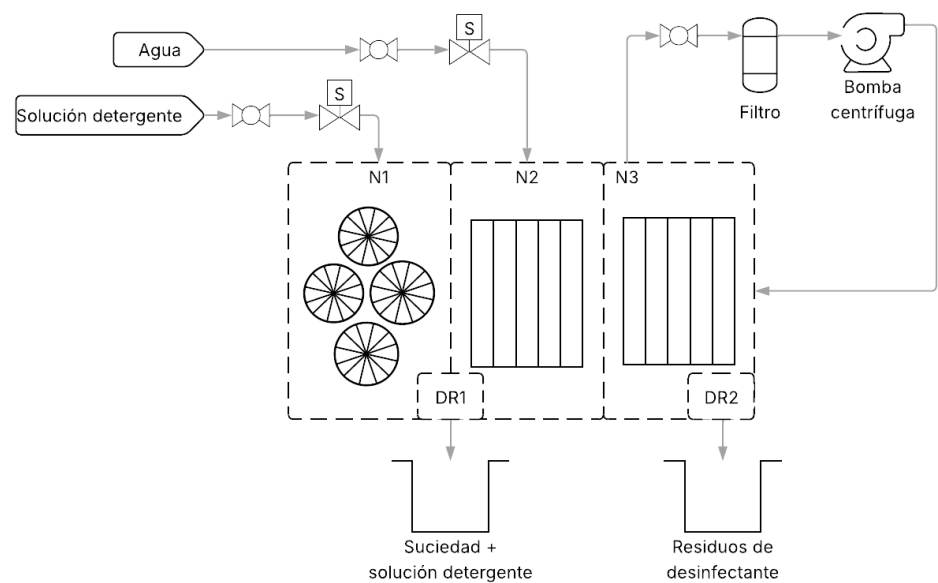
Este apartado detalla la configuración del sistema hidráulico y de dosificación de agentes químicos, fundamental para el suministro de recursos de cada etapa del proceso de limpieza. Se presenta una descripción de los componentes, sus interconexiones y flujo de recursos a través de un diagrama de flujo de procesos (DFP). Adicionalmente, se especifican y analizan los parámetros de entrada y de funcionamiento que rigen la operación de cada etapa.

2.5.1 Diagrama de flujos de procesos (DFP)

En el diagrama de flujo del sistema hidráulico, como se muestra en la Figura 15, se definen tres etapas funcionales. En las etapas 1 y 2, correspondiente a la limpieza de suciedad superficial con solución detergente y cepillos giratorios y enjuague con agua limpia, se controla el paso de los fluidos mediante válvulas solenoides. Estas se activan según necesidad operativa, permitiendo o

bloqueando el suministro. Para ambas etapas se definen los parámetros de entrada que garanticen un funcionamiento eficiente. La etapa 2 utiliza boquillas de pulverización de cono lleno como salida, por lo que las condiciones hidráulicas deben cumplir los requisitos específicos de estos elementos. Ambas etapas comparten una salida de drenaje común. La etapa 3 corresponde a un sistema independiente destinado a la recirculación de la solución desinfectante.

Figura 15
Entrada de recursos y salida de fluidos por etapas



Nota. Esta figura muestra los instrumentos y actuadores a utilizar en cada etapa

Las conexiones hidráulicas de cada etapa se describen en función de sus entradas y salidas, como se muestra en la Tabla 11.

Tabla 11
Descripción entradas y salidas sistema principal

Etapa	Entrada	Salida	Destino
1	Solución detergente	DR1	Drenaje común
2	Agua	DR1	Drenaje común
3	Solución desinfectante	DR2	Depósito de residuos de desinfectante

La etapa 1 y 2 comparten la misma línea de salida (DR1) hacia el drenaje más cercano. En cambio, la etapa 3 utiliza una salida independiente (DR2) destinada a un depósito de residuos.

2.5.2 Sistema de suministro de solución detergente (etapa 1)

Para la primera etapa se consideró un sistema de aspersión conformado por cuatro colectores de acero inoxidable AISI 304, dispuestos en serie e interconectados mediante líneas de tubería continua con dobleces de 45°. Cada colector incorporó dos boquillas de cono lleno, con un total de ocho puntos de expulsión de solución detergente. Los colectores se orientaron con un ángulo de 45° hacia la parte central, asegurando humedecer los cepillos y bota.

Se seleccionó tubería de 1" cédula 40 para los colectores principales y de 1/2" (espesor 0.035") para la interconexión entre colectores y línea de ingreso. La boquilla seleccionada tiene un patrón de aspersión de cono sólido, caudal nominal de 0.54 L/min a 21.75 psi (1.5 bar) donde la distancia de 20 cm desde la salida de la boquilla tiene una cobertura de 22 cm. Para el control de ingreso se utilizó una válvula de bola en serie con una válvula solenoide.

Con base en el caudal requerido de 4.32 L/min y presión nominal de 21.75 psi, se calcularon las pérdidas de carga por fricción y accesorios, dando como resultado 0.6 psi. La presión de entrada requerida es 22.4 psi. Los datos de entrada y cálculos se detallan en el Apéndice C.

La tubería seleccionada cumple con la norma ASME B31.3/B31.1, con presión de servicio de 2 600 psi, proporcionando un factor de seguridad de 113, cumpliendo con una operación segura del sistema. Los parámetros de entrada del sistema se muestran en la tabla_.

Tabla 12

Parámetros de entrada calculados - etapa 1

Parámetro	Valor
Caudal total (Q)	4.32 L/min
Presión nominal de operación ($P_{entrada}$)	22.4 psi
Material de tubería entrada	Acero inoxidable AISI 304

Diámetro de tubería conexión entrada	1/2" (0.035" espesor) NPT
--------------------------------------	---------------------------

2.5.3 Suministro de agua para enjuague (etapa 2)

La segunda etapa se utilizó los mismos accesorios de entrada y tipo de tubería que en la primera etapa, interconectando dos colectores, ubicados paralelos en los laterales de la etapa, con dos boquillas de aspersión cada uno. La boquilla seleccionada tiene caudal nominal de 0.46 L/min a 58 psi (4 bar) y un ángulo de aspersión de 40°, donde a una distancia del orificio de salida de 25 cm a 30 cm tiene una cobertura teórica de 18.2 cm a 31.8 cm.

Acorde al caudal requerido de 1.56 L/min y presión nominal de 58 psi, se calculó las pérdidas de carga por fricción y accesorios, resultando 1.19 psi. La presión de entrada requerida es 23 psi. Los datos de entrada y cálculos se detallan en el Apéndice C.

Acorde a la presión de servicio de la tubería (2 600 psi) se tiene un factor de seguridad de 116 en el sistema, cumpliendo con los requerimientos del sistema. Los parámetros de entrada están descritos en la Tabla 13.

Tabla 13

Parámetros de entrada calculados - etapa 2

Parámetro	Valor
Caudal total (Q)	1.56 L/min
Presión nominal de operación ($P_{entrada}$)	23 psi
Material de tubería entrada	Acero inoxidable AISI 304
Diámetro de tubería conexión entrada	1/2" (0.035" espesor) NPT

2.5.4 Diseño sistema de recirculación (etapa 3)

La tercera etapa se diseñó para mantener la solución (agua y desinfectante) sin acumulación de sedimentos. Para este fin, se consideró como actuador una bomba periférica que succiona el

fluido desde la parte inferior del depósito (98 L) y descarga hacia un filtro de malla de acero inoxidable de 50 micras, encargado de retener sedimentos y almacenarlos para posterior limpieza.

Una vez filtrado, el fluido retornó al depósito a través de una malla de salida, para disminuir la turbulencia dentro del depósito. La red de conducción se conformó mediante tubería de acero inoxidable de 1" ANSI 304 cédula 10s, roscada según la norma ASME B1.20.


Para el diseño se consideró un caudal de 20 L/min y se calculó una altura manométrica total 1.94 m.c.a., este valor se utilizó para la selección de la bomba periférica.

2.5.5 Selección de bomba

Con base a la altura manométrica calculada y la curva característica (Apéndice), se determinó un caudal de 39 L/min. Con ello se seleccionó una bomba periférica de 0.5 hp, se detalla especificaciones en la Tabla 14.

Tabla 14

Características de bomba periférica seleccionada

Modelo	Bomba residencial PAOLO 1/2 hp
Imagen	
Potencia (hp)	0.5 hp
Altura manométrica total definido (H)	1.94 m.c.a.
Caudal (Q)	39.0 l/min

Nota. Descripción de ficha técnica [35].

2.6 Sistema de automatización de proceso

El apartado describe el diseño y la arquitectura del sistema de automatización del proceso de limpieza. Se presentó una descripción general del sistema, definiendo sus entradas y salidas. Se detalló la selección de los componentes; incluyendo los sensores, controlador lógico programable

(PLC) y elementos del tablero de control. Finalmente, se incluyó el diagrama de entrada y salida del sistema, el cual ilustró los elementos de fuerza y control.

2.6.1 Descripción general del sistema

El sistema de automatización diseñado se basó en una lógica de control secuencial, activada por la detección de la presencia del usuario. Un sensor de proximidad fue el elemento principal para iniciar y mantener la operación del sistema. Si el sensor no detectaba la presencia de una persona, se activaba un temporizador de 15 segundos para detener completamente el sistema, optimizando el consumo de energía y vida útil de los componentes.

Una vez que el sistema se activaba, se iniciaba un ciclo de tres etapas, donde la transición entre cada una era controlada por temporizadores de 7 segundos y señalizada al usuario mediante luces piloto. Para el motor trifásico de la etapa 1, se incluyó un variador de frecuencia (VFD), permitiendo un control preciso sobre velocidad y el par, además de protección al actuador. El control lógico y la gestión de los actuadores y sensor se centralizó en un PLC, que procesaba las señales de entrada y activaba las salidas correspondientes. El sistema incluyó un tablero de control con funciones de encendido, apagado y paro de emergencia, ofreciendo al operador un control directo sobre la máquina.

2.6.2 Definición de entradas y salidas del sistema

Para la gestión de las operaciones, se definieron las siguientes entradas y salidas para el PLC, detallado en la Tabla 15, las cuales permitieron la interacción del sistema con el entorno y el control de los componentes.

Tabla 15

Listado de entradas y salidas





Señal	Tipo	Funcionamiento
Sensor de presencia	Entrada digital	Detecta al usuario en la entrada de la máquina

Señal	Tipo	Funcionamiento
Interruptor de llave	Entrada digital	Energiza el sistema
Pulsador de marcha	Entrada digital	Permite la puesta en marcha del sistema
Pulsador de paro	Entrada digital	Permite detener la operación
Botonera de paro de emergencia	Entrada digital	Detención inmediata y segura del sistema
Motor trifásico	Salida digital	Actuador del sistema de cepillado
Válvula solenoide (etapa 1)	Salida digital	Controla el flujo de la solución de agua y detergente
Válvula solenoide (etapa 2)	Salida digital	Controla el flujo de agua para el enjuague
Bomba de recirculación (etapa 3)	Salida digital	Mantiene el flujo de la solución desinfectante
Luz piloto (etapa 1)	Salida digital	Indica el avance a la siguiente etapa
Luz piloto (etapa 2)	Salida digital	Indica el avance a la etapa final
Luz piloto (etapa 3)	Salida digital	Indica la finalización del ciclo y la salida del usuario
Luz piloto (marcha)	Salida digital	Indica el inicio del sistema
Luz piloto (paro)	Salida digital	Indica sistema apagado

2.6.3 Selección de sensores

El diseño requirió la selección de un sensor de presencia para la activación automática del ciclo de limpieza. El sensor debía ser capaz de operar en un ambiente húmedo y potencialmente sucio, detectando de manera confiable la presencia del operario sin fallar. Se evaluaron distintos tipos de sensores como se detalla en la Tabla 16.

Tabla 16*Principales tipos de sensores de presencia de uso industrial*

Tipo	Modelo	Imagen	Protección	Detalle
Capacitivo	SICK CQ35-25NPP-KC1		IP67	<p>Rango de detección: 4 – 25 mm</p> <p>Reproducibilidad / histéresis: $\leq 5\%$ / 4 – 20 %</p> <p>Material detectado: apto para detectar objetos incluso a través de materiales dieléctricos</p>
Inductivo	PNP LJ12A3-4-Z/BY		IP65	<p>Rango de detección: 4 mm \pm 10%. No inmersivo en agua</p> <p>Material detectado: hierro, aleaciones ferromagnéticas.</p>
Fotoeléctrico	E18-D80NK-N		IP20	<p>Rango de detección: 30 – 800 mm. Uso en interiores, ambientes limpios y secos.</p> <p>Material detectado: elementos no expuestos a humedad</p>
Ultrasónico	UM18-211161101		IP65/IP67	<p>Rango de detección: 30 – 350 mm</p> <p>Reproducibilidad / histéresis: ≥ 0.2 mm / 3 mm</p> <p>Material detectado: cualquier material que refleje ondas ultrasónicas (sólidos, líquidos, transparentes, etc.)</p>

Nota. Ficha técnica; Sensor capacitivo según SICK[36] , sensor inductivo según HWE[37] , sensor fotoeléctrico según Ge-Gizmo [38], sensor ultrasónico según SICK[39] .

Se seleccionó un sensor ultrasónico por su capacidad para operar de forma óptima en el entorno específico de la máquina. A diferencia de los sensores fotoeléctricos, que pueden fallar


ante la presencia de agua o suciedad que altera su lectora, el sensor ultrasónico utiliza ondas sonoras para detectar objetos.

2.6.4 Selección de PLC

Para la gestión centralizada del sistema de automatización, se seleccionó el PLC Siemens S7-1200 CPU 1214C. La elección se justificó por su escalabilidad y su capacidad de expansión, que permitieron cubrir las 5 entradas y 9 salidas digitales requeridas por el sistema. La Tabla 17 presenta la descripción técnica del dispositivo.

Tabla 17

Especificaciones de PLC Siemens S7-1200 CPU 1214C

PLC Siemens S7-1200 1214C	
Imagen	
Tensión de alimentación	110/220 VAC
Memoria	75 KB
Entradas/Salidas	14 DI, 10 DO, 2AI
Capacidad de expansión para módulos de señal	8
Comunicación	PROFINET integrado, PROFIBUS, Modbus, USS, entre otros
Entradas de alta velocidad (HSC)	6 (hasta 100 kHz)
Salida de tren de pulsos (PTO)	4 (hasta 100 kHz)
Temperatura de funcionamiento	-20 °C a 60 °C
Tiempo de ciclo de scan	200 μs

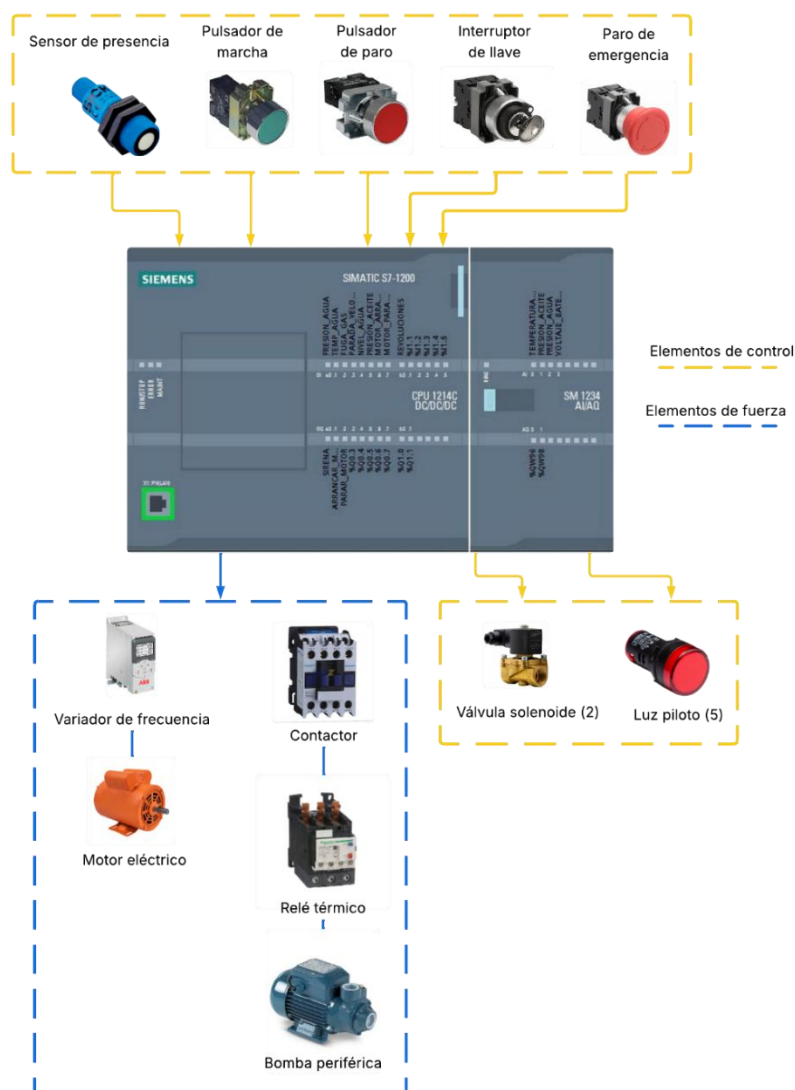
Nota. Información técnica según fabricante

2.6.5 Diagrama de arquitectura de control

En la figura_, se presenta el diagrama de arquitectura de control que ilustra la interconexión entre el PLC, los elementos de control y fuerza. Se seleccionó el lenguaje de programación de escaleras (Ladder) por ser uno de los más utilizados localmente en la industria y por su compatibilidad con el PLC. Además, el programa de simulación en CadeSimu fue utilizado para realizar los circuitos de fuerza y control permitiendo validar la lógica del sistema.

Figura 16

Arquitectura de comunicación



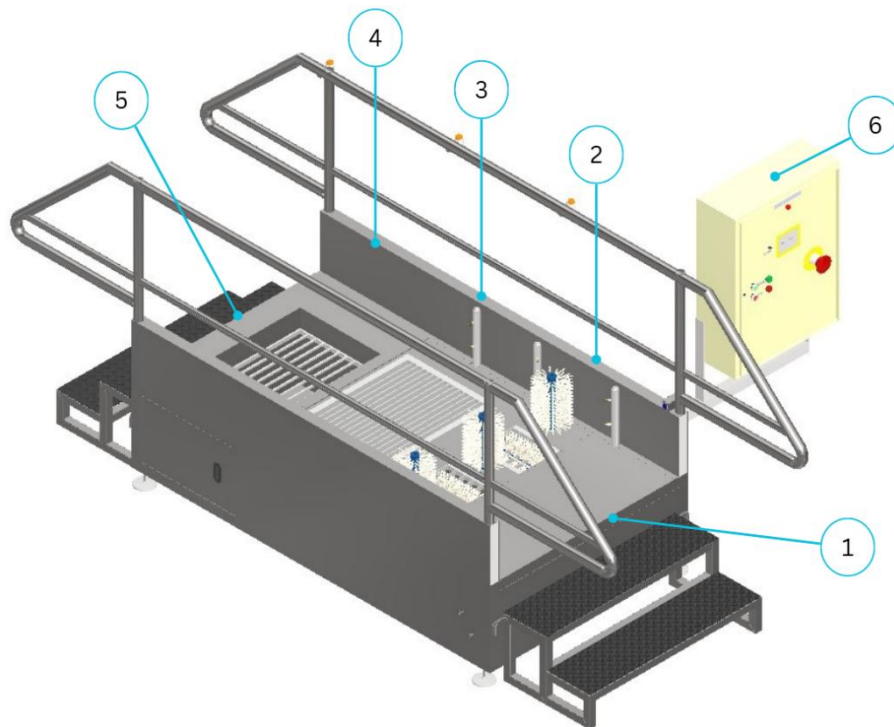
Capítulo 3

3.1 Resultados y análisis

El presente análisis se enfoca en los resultados obtenidos durante la evaluación del sistema de limpieza automática de calzado. En las siguientes secciones, se presentará un estudio detallado sobre tres componentes fundamentales del sistema: el sistema de transmisión, el sistema hidráulico y el sistema de control. El sistema de transmisión considerará el dimensionamiento del diámetro de los ejes y el acople del sistema de bandas y poleas con los ejes. El sistema de hidráulico presenta un análisis de los caudales, presiones y tuberías a aplicar en el sistema de aspersión. La sección de control analiza las conexiones apropiadas de los componentes eléctricos y de potencia con el PLC S7-1200 de Siemens.

Figura 17

Sistema de limpieza de botas



Nota. Diseño 3D de máquina de limpieza y desinfección de botas amarillas; entrada de trabajador (1), primera etapa de lavado y cepillado (2), segunda etapa de enjuague con agua limpia (3), tercera etapa de desinfección (4), salida de trabajador (5) y panel de control eléctrico (6)

3.2 Diseño de ejes

Luego de realizar un análisis de las fuerzas que ejercen las bandas y engranajes en los ejes se pudo determinar los diámetros mínimos utilizando la calculadora de Inventor. Al requerir de 4 ejes distintos (los dos ejes de los cepillos de las suelas son iguales y dos de los cepillos laterales también) obtenemos los siguientes resultados.

Tabla 18

Diámetro de eje principal

Sección	Diámetro mínimo (mm)	Diámetro de diseño (mm)
a	12.5	20
b	12.5	30
c	19.5	25
d	12.5	30
e	10.3	15

Tabla 19

Diámetro de ejes de suela

Sección	Diámetro mínimo (mm)	Diámetro de diseño (mm)
a	12	20
b	12.5	30
c	14.2	25
d	12.5	30
e	10	20

Tabla 20

Diámetro de eje de cepillo vertical central

Sección	Diámetro mínimo (mm)	Diámetro de diseño (mm)
a	2.5	20

Sección	Diámetro mínimo (mm)	Diámetro de diseño (mm)
b	12.5	30
c	14.48	25
d	12.5	30
e	5.32	15

Tabla 21

Diámetro de cepillos laterales

Sección	Diámetro mínimo (mm)	Diámetro de diseño (mm)
a	5.32	20
b	12.5	30
c	9.55	25
d	12.5	30

Cada eje presenta diferentes secciones con diámetros variables que corresponden a los valores establecidos en las tablas anteriores. Los diámetros de diseño seleccionados son significativamente mayores que los diámetros mínimos calculados, lo que proporciona un factor de seguridad adicional.

Se observa que los ejes tienen configuraciones similares con secciones escalonadas para alojar diferentes componentes como rodamientos, engranajes y poleas. Las transiciones entre secciones están diseñadas con chaflanes para reducir la concentración de esfuerzos en los cambios de sección.

Los ejes incluyen también características específicas como ranuras para anillos de retención, chaveteros para la transmisión de potencia, y roscas en los extremos para la fijación de componentes. Estas características son esenciales para el correcto funcionamiento del sistema de transmisión.

La configuración de los ejes permite una distribución adecuada de las cargas y garantiza la resistencia necesaria en las zonas críticas donde se presentan los mayores esfuerzos. El sobredimensionamiento intencional en todas las secciones asegura que los ejes puedan soportar cargas inesperadas y proporciona una vida útil prolongada para los componentes.

3.3 Sistema de transmisión

El sistema de transmisión presentado en la Figura 18 y Figura 19 muestra un diseño complejo de poleas que permite el movimiento de los cepillos de suela y laterales. El eje central visible en la Figura 17 sirve como punto de conexión al motor, funcionando como la fuente principal de energía mecánica para todo el sistema.

La configuración de las poleas sigue un patrón de transmisión en serie donde el movimiento se distribuye desde el eje central hacia las diferentes áreas de limpieza. En cuanto a los cepillos de suela (Figura 18), el sistema está organizado con el eje central como punto de distribución. Las poleas en esta sección están configuradas de manera que el movimiento se transmite hacia arriba, permitiendo que los cepillos superiores realicen un movimiento rotacional horizontal ideal para la limpieza de la superficie de la suela.

En el caso de los cepillos laterales (Figura 19), se observa que las poleas están dispuestas en un arreglo que permite la conversión del movimiento rotacional horizontal a un movimiento angular adecuado para la acción de cepillado lateral.

Los puntos de sujeción y los rodamientos están estratégicamente ubicados para mantener la estabilidad del sistema durante la operación, minimizando vibraciones y desgaste prematuro. La estructura general muestra un diseño compacto pero funcional, permitiendo que todos los elementos necesarios para la transmisión estén integrados en un espacio relativamente reducido sin comprometer la funcionalidad del sistema.

Figura 18

Sistema de transmisión de cepillos de suela

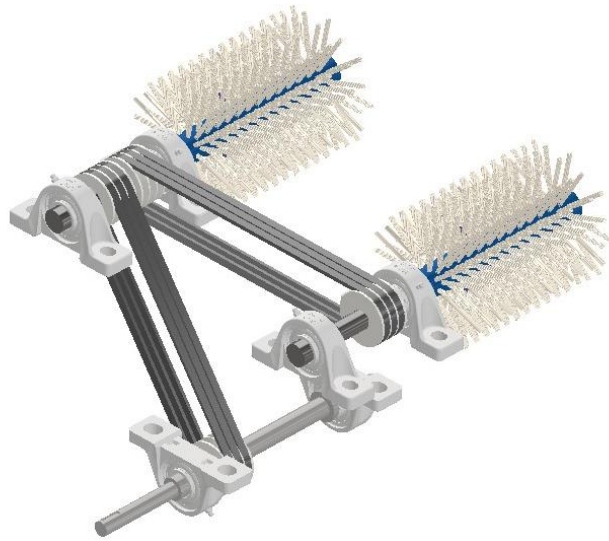
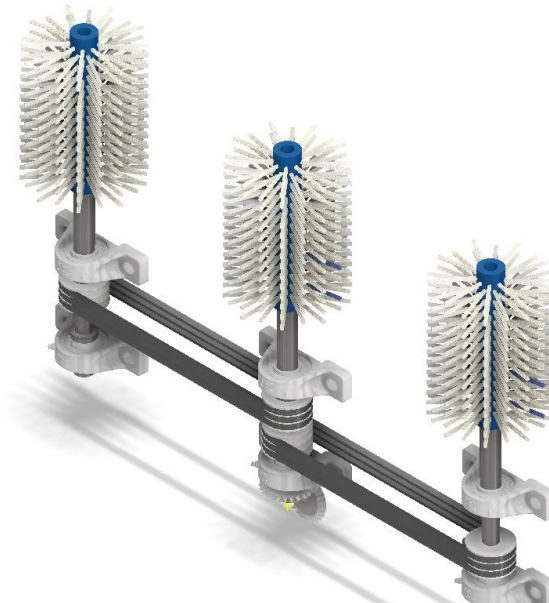


Figura 19

Sistema de transmisión de cepillos laterales



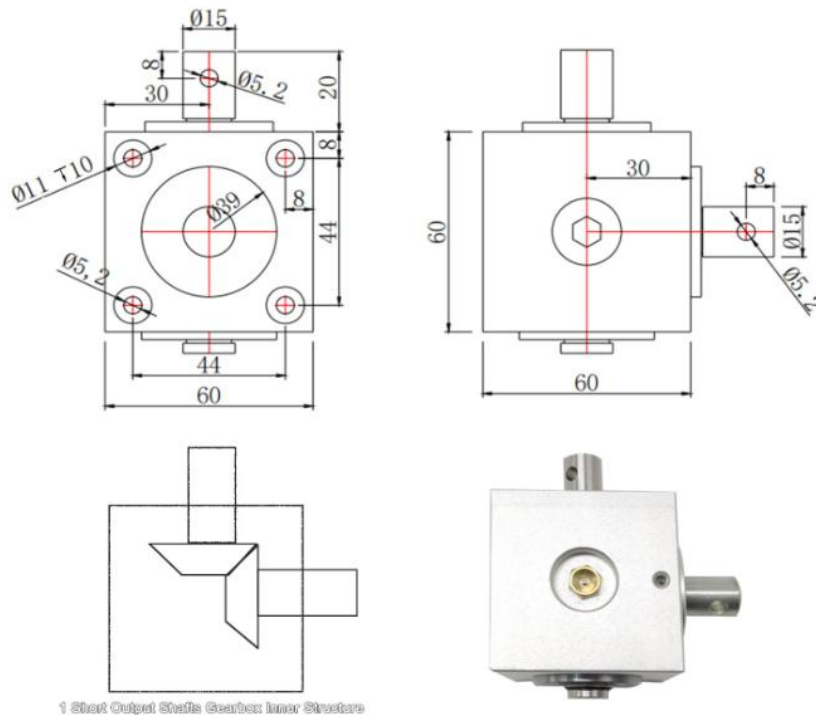
Es importante destacar que la sincronización entre las diferentes secciones del sistema es fundamental para el correcto funcionamiento del conjunto, asegurando que los cepillos de suela y laterales operen de manera coordinada durante el proceso de limpieza.

Para el engranaje cónico se decidió escoger uno comercial, esto disminuirá los costos de producción del sistema debido a que para el diseño de este tipo de engranajes es necesario un

maquinado muy preciso de las piezas para asegurar un acople adecuado, este tipo de maquinados puede llegar a ser más costoso que adquirir uno comercial. Se seleccionó uno que cumple con la transmisión de 1:1 deseada (Figura 20), este engranaje es de 20 dientes y un ángulo de presión de 20°.

Figura 20

Engranaje cónico de transmisión 1:1



3.4 Sistema de tuberías e instrumentación

El sistema se compone de tres etapas: suministro de solución detergente (etapa 1), suministro de agua para enjuague (etapa 2) y recirculación (etapa 3). El diseño se realizó según los parámetros de entrada definidos. En las etapas 1 y 2 se emplearon colectores con distribución simétrica, cambios de dirección a 45° y boquillas de aspersión ubicadas a 25 cm y 15 cm de altura respecto a la suela. La etapa 3 se configuró como un sistema independiente con tubería recta y accesorios. Los elementos de instrumentación para conexiones del sistema se detallan en el apéndice D.

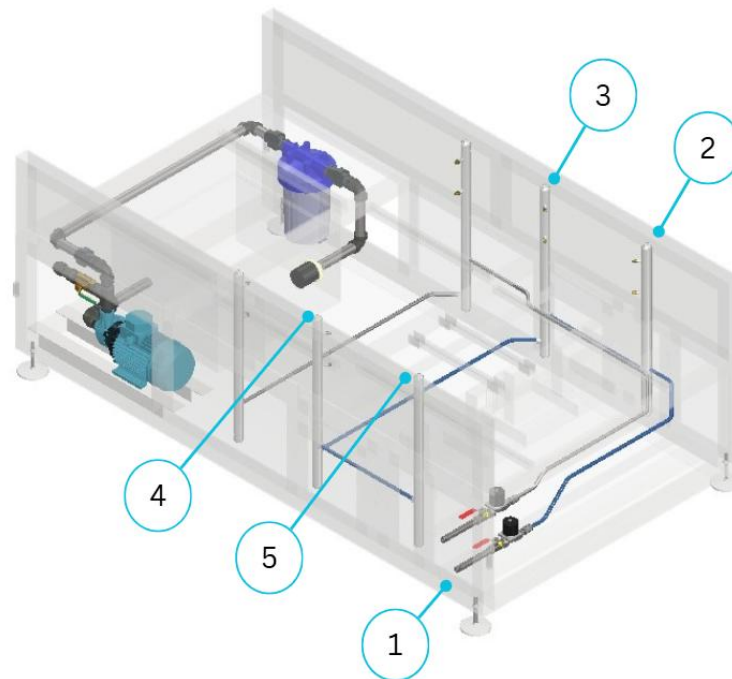
Para el cálculo de insumos requeridos en cada etapa, se consideró el uso de la máquina para dos jornadas de 250 trabajadores cada una, que realizan dos ingresos a la planta al día, con un total de 4 ingresos de personal; los cálculos detallados se presentan en el Apéndice C.

3.4.1 Etapa 1: distribución de colectores y orientación de aspersión

El ingreso de la línea se ubica en el lateral izquierdo de la zona inicial, con el fin de facilitar el acceso y las conexiones externas como se muestra en la Figura 21. Desde ese punto, la tubería se distribuye hacia los colectores A, B, C y D, interconectados simétricamente y orientados a 45° hacia el centro para asegurar cobertura uniforme del área de trabajo, Figura 22. En plena capacidad, el sistema demanda aproximadamente 247 L/h de agua y 12.34 L/h de detergente.

Figura 21

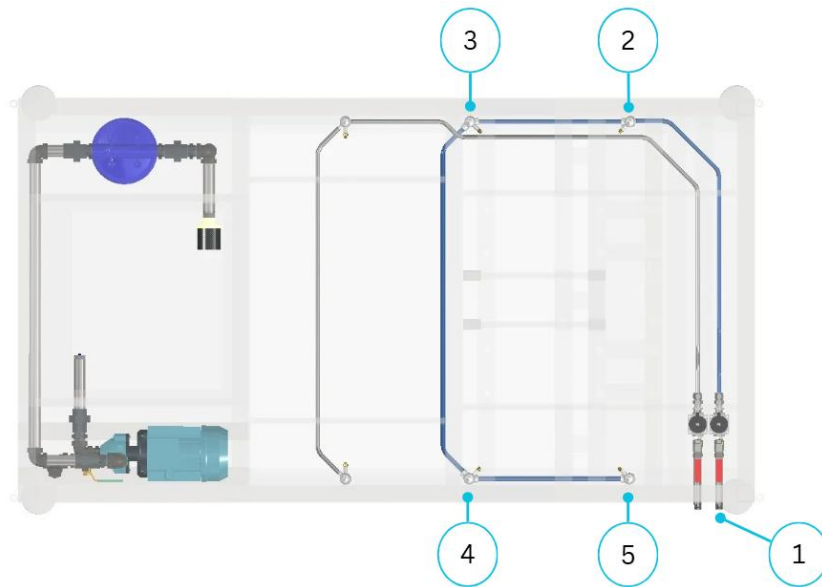
Sistema de aspersión de solución detergente – vista isométrica



Nota. Conexión suministro (1), colector A (2), colector B (3), colector C (4) y colector D (5)

Figura 22

Sistema de aspersión de solución detergente – vista de planta



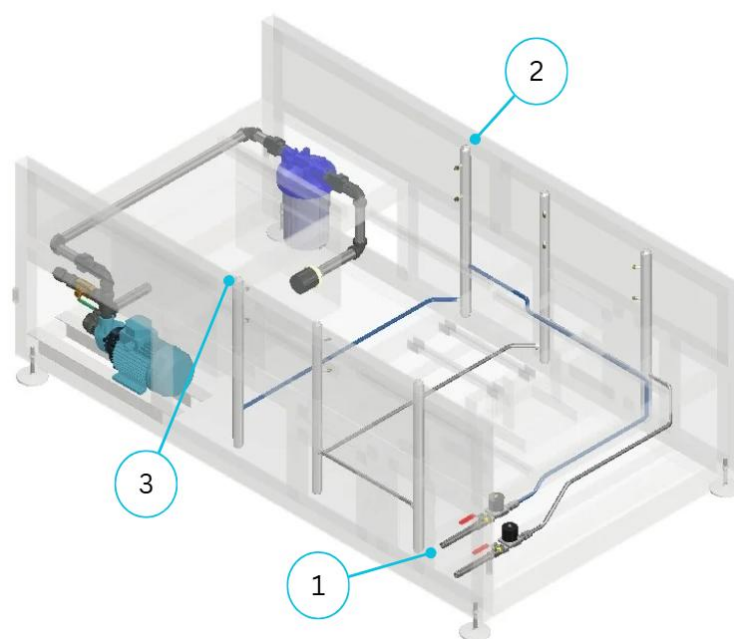
Nota. Conexión suministro (1), colector A (2), colector B (3), colector C (4) y colector D (5)

3.4.2 Etapa 2: distribución de colectores y orientación de aspersión

La Figura 23 muestra la conexión de ingreso se ubica en el lateral izquierdo, 12cm por encima de la entrada de la etapa 1, facilitando el acceso y el mantenimiento. Desde allí, la tubería conduce el agua a los colectores E y F, distribuidos de manera que se asegure la cobertura del área de trabajo. El sistema requiere aproximadamente 93.6 L/h de agua.

Figura 23

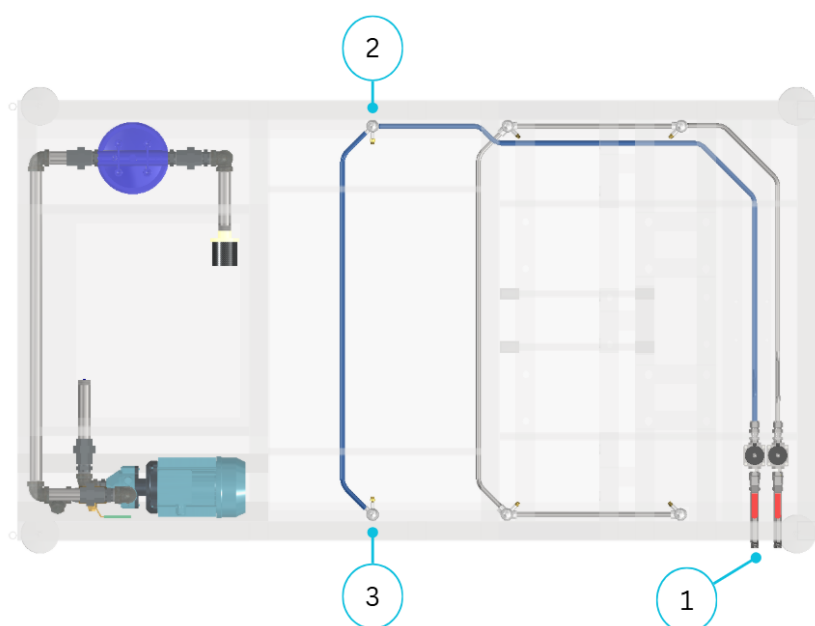
Sistema de aspersión de agua – vista frontal



Nota. Conexión suministro externo (1), colector E (2) y colector F (3)

Figura 24

Sistema de aspersión de agua – vista de planta



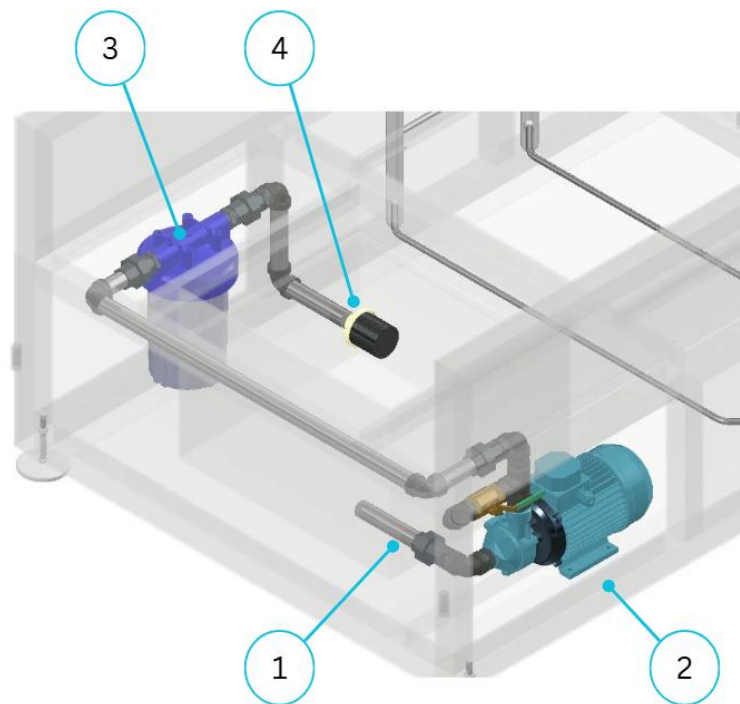
Nota. Conexión suministro externo (1), colector E (2) y colector F (3)

3.4.3 Etapa 3: sistema de recirculación

La tercera etapa corresponde a un sistema independiente de recirculación y filtrado del fluido en el depósito, diseñado para mantener un flujo continuo y libre de impurezas. La bomba periférica toma succión desde la parte inferior del depósito (Figura 25). El fluido tratado retorna al depósito y se descarga a 14 cm por encima de la succión, asegurando recirculación homogénea. Manteniendo la capacidad del fluido con un porcentaje de 5% a 10% de pérdidas por evaporación y se debe de llenar el tanque hasta línea de tope, el desinfectante requerido es de 1.05 L/h.

Figura 25

Sistema de recirculación – vista isométrica



Nota. Conexión de succión (1), bomba periférica (2), filtro (3) y fin de descarga (4)

3.5 Diseño de tablero eléctrico

En la Figura 26, se ilustra el diseño del tablero de control, que actúa como la interfaz principal para la operación de la máquina. Este tablero centraliza los elementos necesarios para la puesta en marcha, control y seguridad del sistema. En la Figura 26, se detalla el diseño interno,

mostrando la organización y disposición de los componentes de control y eléctricos, como el PLC, las borneras, los relés, las fuentes de poder respectivamente.

Figura 26

Panel de control eléctrico; vista exterior e interior

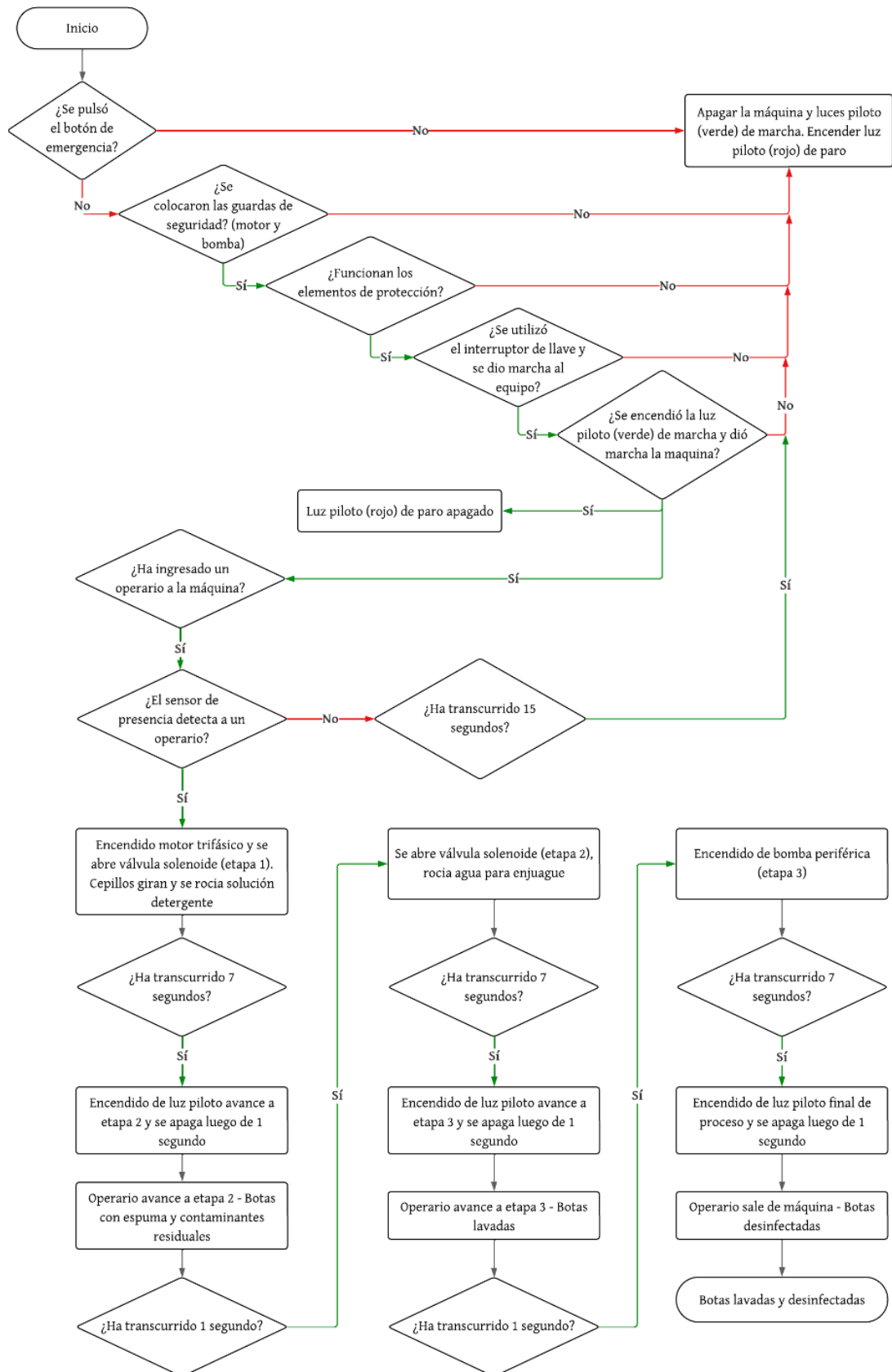


3.5.1 Esquema de funcionalidad del sistema

La Figura 27 presenta el esquema de funcionalidad del sistema, donde se representa la lógica de control completa, detallando las acciones y decisiones que rigen el proceso, desde el estado de emergencia hasta la finalización del ciclo de limpieza. Mediante este esquema, se evidencia el flujo operativo que asegura la limpieza y desinfección de las botas del operario.

Figura 27

Diagrama de funcionalidad del sistema



3.5.2 Conexiones y simulación de sistema de fuerza y control

Para el diseño de conexiones y simulación del sistema de fuerza y control con su respectiva programación Ladder se realizó en un software de simulación eléctrica y electrónica. Los planos de conexiones se encuentran en el apéndice E, mientras que el listado de elementos del sistema se incluye en el Apéndice D.

Se configuró el motor trifásico incorporando sus elementos de protección y variador de frecuencia, lo que garantiza un arranque controlado y la regulación de velocidad requerida para el proceso. La bomba periférica, al ser monofásica, se implementó en un circuito independiente con el fin de asegurar su energización sin interferencias en el control del motor trifásico.

La Figura 28 muestra el sistema en estado de espera, en el cual motor y la bomba no están energizados hasta recibir la señal del sensor de presencia para iniciar el ciclo. La Figura 29 evidencia la lógica Ladder implementada, destacando la activación de la bobina “luz piloto Marcha” como confirmación de la correcta secuencia de control.

Figura 28

Circuito de fuerza - energización y puesta en marcha de sistema

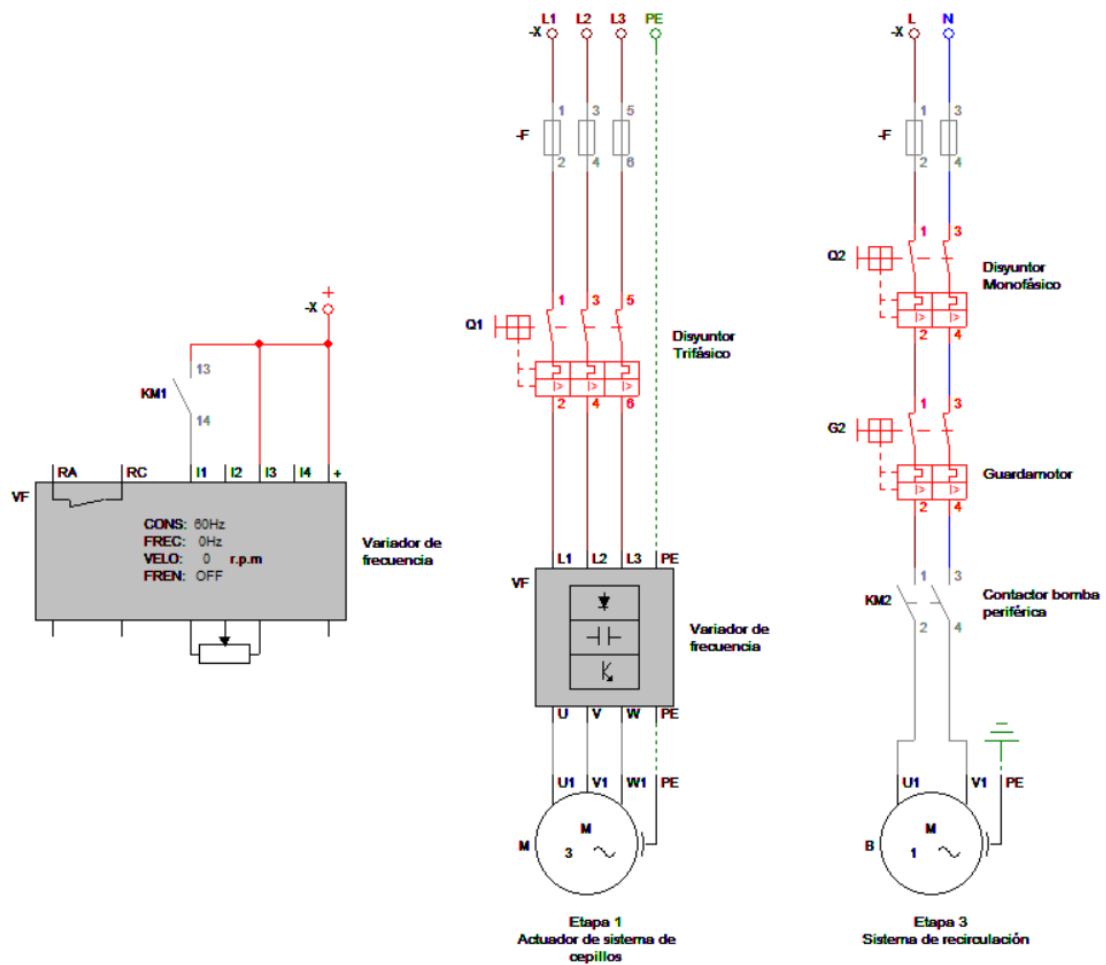
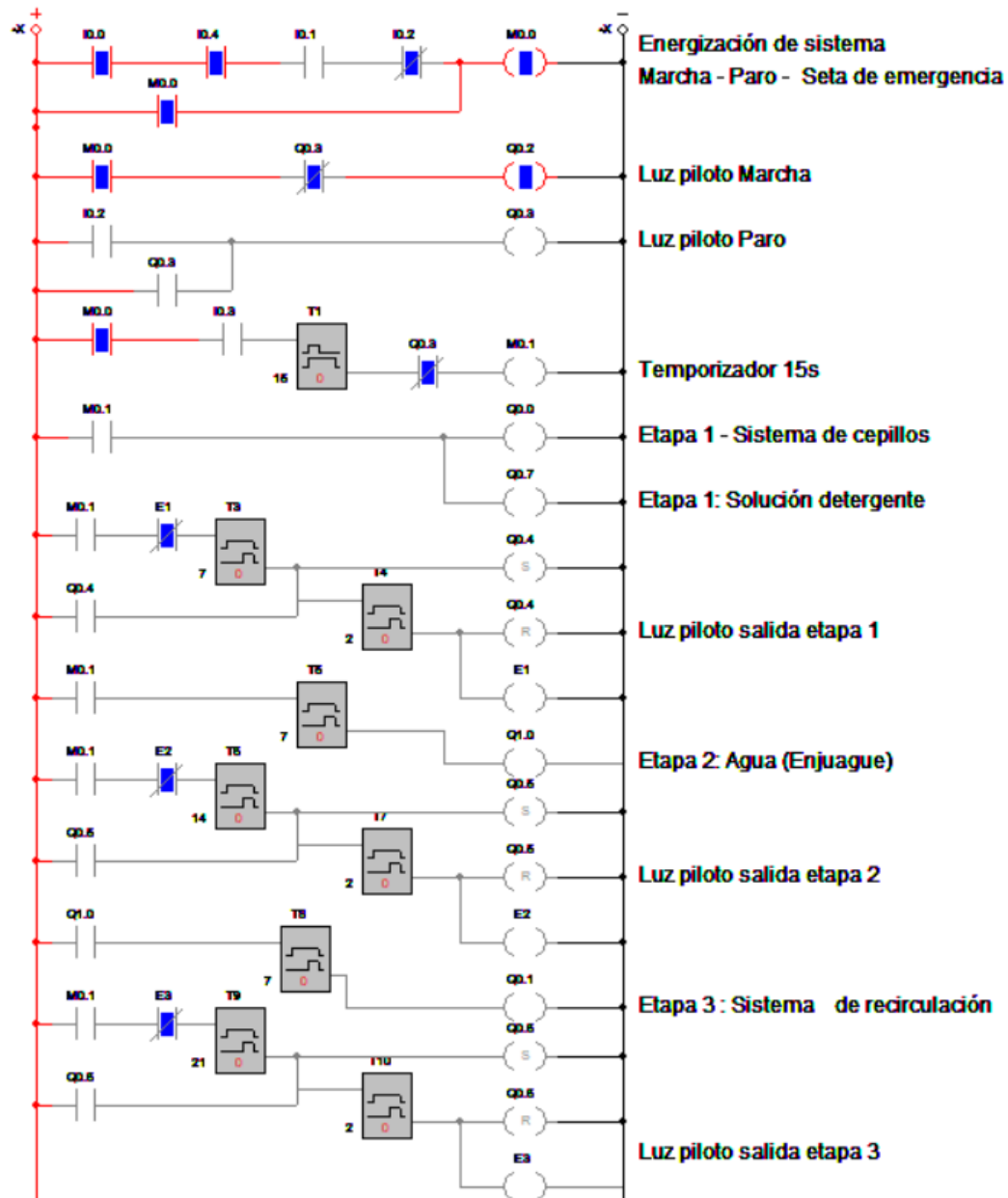


Figura 29

Programación Ladder - energización y puesta en marcha de sistema



En la Figura 30 se observa el sistema en funcionamiento, con el motor y la bomba operativos tras la configuración del variador de frecuencia a 60 Hz. Los contactos de ambos equipos permanecen cerrados, garantizando la continuidad del ciclo.

En la Figura 31, el sistema opera en su totalidad. El sensor de presencia incorpora en serie un temporizador de 15 segundos, el cual interrumpe el ciclo de lavado en ausencia de usuarios en la cola. Durante la operación continua, las tres etapas del proceso se ejecutan de manera secuencial; la luz piloto de cada etapa se enciende 2 segundos al final de cada etapa, indicando al usuario el

momento de avanzar. En el estado mostrado el sistema se encuentra en la transición de la etapa 2 a la etapa 3.

Figura 30

Circuito de fuerza – sistema en funcionamiento

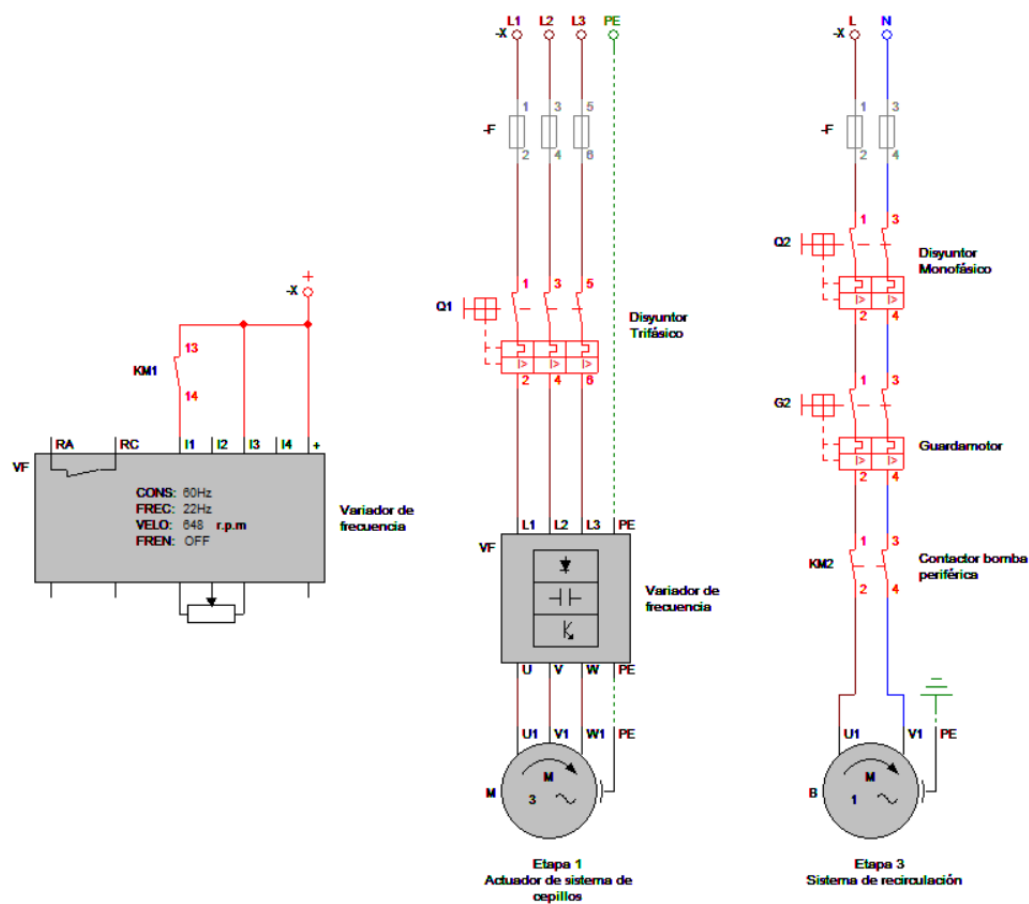
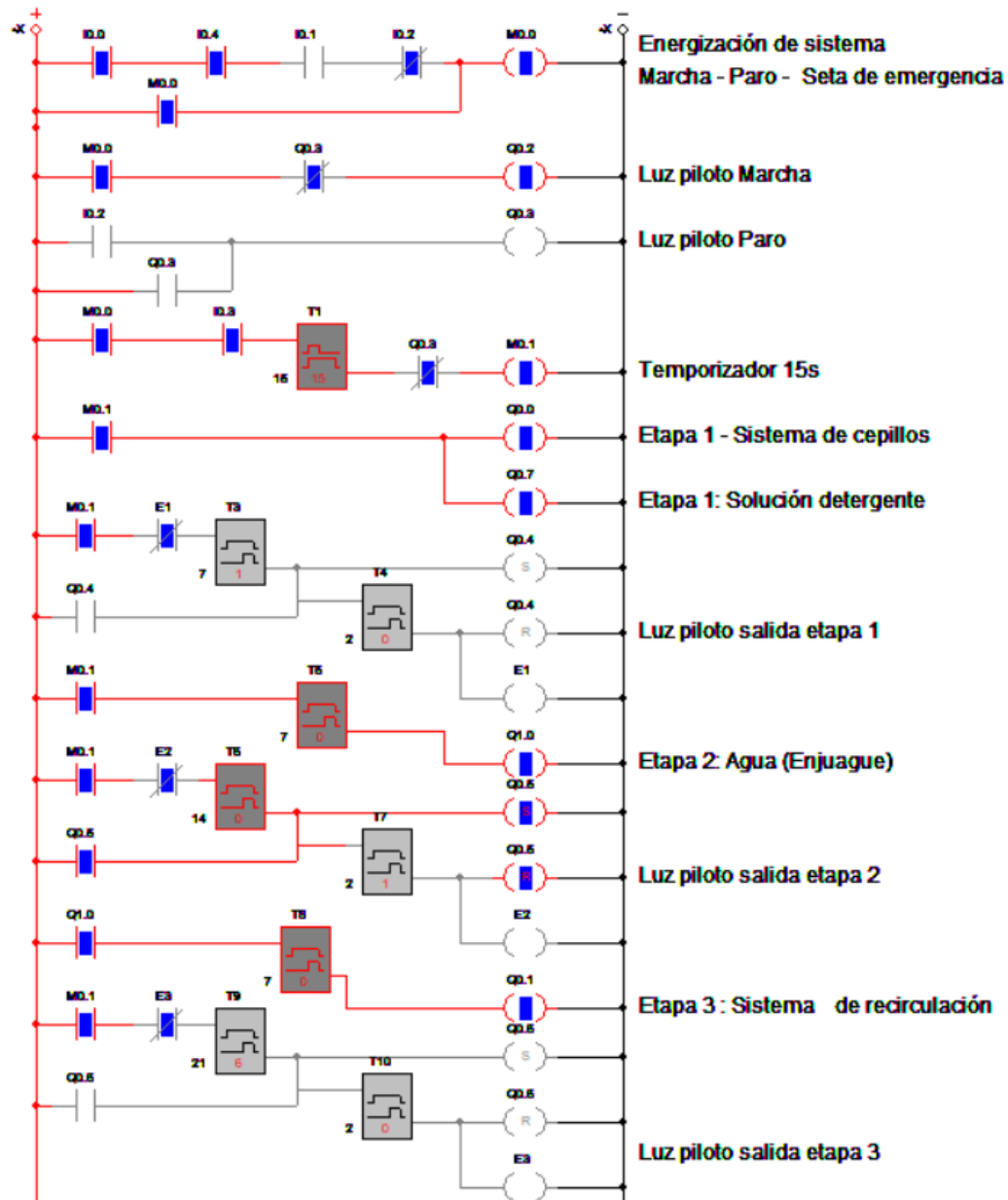


Figura 31

Programación Ladder - Sistema lavado completo



3.6 Análisis de costos

En esta sección se describen el análisis de costos acorde a los sistemas diseñados. El detalle de los precios se agrupa por sistema para facilitar su identificación. La Tabla 22 muestra los datos de costos directos e indirectos estimados del diseño y construcción del proyecto. Se puede observar que los costos más altos corresponden a la parte mecánica debido a los altos costos de mecanizado

y ensamblaje de la estructura además del precio del motorreductor y los componentes del sistema de transmisión. El diseño optimizado del sistema hidráulico significa una importante reducción de costos en esta area. En el area de control los mayores rubros provienen del controlador lógico S7-1200 de Siemens y del variador de frecuencia, lo cual era de esperarse al ser equipos costosos pero muy necesarios para el correcto funcionamiento del sistema. Se consideró un 25 % de utilidad con respecto a los costos totales además de un 10% como costos imprevistos que pueden surgir durante el diseño o producción del equipo.

Tabla 22

Lista de costos agrupado por sistemas

Elemento	Descripción	Cantidad	Precio Unitario (USD)	Precio Total (USD)
Sistema mecánico				
Chumacera UCP-206	Chumacera de soporte axial y radial	12	\$35.00	\$420.00
Maquinado de ejes	Maquinado de ejes incluyendo ranuras y chavetas	6	\$30.00	\$180.00
Acero AISI 420	Material de los ejes x Kg	3	\$5.00	\$15.00
Cepillos de tipo rodillo	Cepillos industriales cilíndricos	5	\$90.00	\$450.00
Caja de engranajes cónicos	Caja de engranajes 1:1 con 20 dientes	1	\$75.00	\$75.00
Acople de engrane cónico	Acoplamiento para el engranaje cónico	1	\$14.24	\$14.24
Soldadura	Soldadura de estructura completa	1	\$150.00	\$150.00
Acero A304	Material de la estructura x Kg	70	\$1.50	\$105.00
Motorreductor WEG WG20 2HP	Motorreductor WG20 SH032	1	\$780.00	\$780.00

Elemento	Descripción	Cantidad	Precio Unitario (USD)	Precio Total (USD)
Poleas SPZ 67 mm	Polea para banda SPZ de diámetro 67 mm	8	\$5.00	\$40.00
Bandas SPZ 1000	Banda tipo SPZ de 1000 mm de longitud	4	\$10.18	\$40.72
Subtotal				\$ 2255.72
Sistema hidráulico				
Niple 1/2"	Neplo acero inox cintura 150 lbs 1/2" T304	2	\$ 1.47	\$ 2.94
Válvula de bola 1/2"	Válvula esférica acero inox 304 2CP 1000 WOG 1/2" TW	2	\$ 8.62	\$ 17.24
Válvula solenoide 1/2"	Electrovalvula Valvula Solenoide 1/2 12v 110v	2	\$ 40.25	\$ 80.50
Neplo 1/2" x60mm	Neplo acero inox 1/2 x 6cm	2	\$ 2.84	\$ 5.68
Conector tubo a macho NPT 1/2"	Conector recto: tubo a la NPT hembra	2	\$ 12.99	\$ 25.98
Tubo acero inox (mm)	Tubo de acero inoxidable sin soldadura	5548	\$ 0.06	\$ 327.64
Boquilla de aspersión plana	Número de parte HB1/8VV-650017	4	\$ 14.86	\$ 59.45
Boquilla de cono lleno	Número de parte B1/8HH-SS1.5	2	\$ 22.23	\$ 44.45
Codo 1" x 90	Codo acero inox 1"x 90 150 lbs T-304	5	\$ 2.73	\$ 13.65
Unión universal 1"	Unión universal acero inox 1" 150 lbs T-304	4	\$ 5.69	\$ 22.76
Neplo hexagonal 1"	Neplo acero inox 1" 150 lbs T-304	11	\$ 1.71	\$ 18.81
Tubo acero inox (mm)	Tubería ASME B36.10M con extremos roscados 1" - Cédula 160	1224.3	\$ 0.01	\$ 13.57

Elemento	Descripción	Cantidad	Precio Unitario (USD)	Precio Total (USD)
Tee 1"	Tee acero inox 1" 150 lbs T-304	1	\$ 3.27	\$ 3.27
Válvula de bola 1"	Válvula esférica acero inox 1" T-304	1	\$ 16.10	\$ 16.10
Tapón macho 1"	Tapón acero inox macho 1" T-304	1	\$ 1.84	\$ 1.84
Bomba periférica	Bomba Periferica 1/2Hp 110V	1	\$ 43.75	\$ 43.75
Filtro	Filtro de sedimentos estándar. 50 micras	1	\$ 30.14	\$ 30.14
Filtro malla	Filtro en acero inox malla y O'ring	1	\$ 1.00	\$ 1.00
Subtotal				\$ 728.77
Sistema eléctrico y de control				
PLC Siemens S7-1200	Plc Siemens S7-1200 Cpu 1214c Dc/dc/dc	1	\$ 520.00	\$ 520.00
Disyuntor 1	Disyuntor Breaker Dz30-32 Dpn 1p+n 20a Y 25a	2	\$ 13.50	\$ 27.00
Disyuntor 2	Disyuntor tipo riel DIN 2P 63A 220V	2	\$ 12.65	\$ 25.30
Guardamotor 1	Guardamotor AZ MPW12-3-U004S 2,5-4 A Resorte	1	\$ 25.50	\$ 25.50
Guardamotor 2	Guardamotor AZ MPW12i-3-D063S 6,3 A Resorte	1	\$ 27.10	\$ 27.10
Contactador	Contactador 12A Ac3 Bob. 220Vac	2	\$ 26.27	\$ 52.54
Variador de frecuencia	Frecuencia: 50Hz/60Hz	1	\$ 275.45	\$ 275.45
Pulsador	Color; rojo (paro) y verde (marcha). 110V-220V	2	\$ 4.25	\$ 8.50
Luz piloto	Color; rojo (paro), verde (marcha) y naranja (señalización paso de etapa). 110v-220v	5	\$ 2.45	\$ 12.25

Elemento	Descripción	Cantidad	Precio Unitario (USD)	Precio Total (USD)
Pulsador paro de emergencia	Pulsador tipo hongo para emergencia de paro.	1	\$ 4.99	\$ 4.99
Interruptor con llave	Normalmente abierto. 110v-220v	1	\$ 5.95	\$ 5.95
Sensor de ultrasónico	Alimentación 6V - 36V	1	\$ 6.58	\$ 6.58
Subtotal				\$ 715.71
Costos Varios				
Diseño y planos técnicos	Suscripción software CAD, licencia. \$231.30 Mano de obra de diseño y construcción. \$1350 Impresión de planos A3. \$20	-	\$1,596.30	\$1,596.30
Herramientas y equipos		-	\$ 800.00	\$ 800.00
Utilidad	25% del costo proyecto	-		\$ 1,591.34
Imprevistos	5-10% del total	-		\$ 636.54
Subtotal				\$ 4624.18
Total				\$ 8,593.25

Nota. Precio referencial al mercado local

Capítulo 4

4.1 Conclusiones y recomendaciones

4.1.1 Conclusiones

El cepillado implementado en la primera etapa de lavado es fundamental para remover adecuadamente la suciedad superficial de las botas. Los residuos adheridos a la superficie requieren un cepillado y enjuague apropiados para desprenderse completamente. El sistema de cepillado está diseñado para realizar una limpieza profunda en poco tiempo, lo que aumenta la eficacia del ingreso del personal y la efectividad de la limpieza. El diseño contempla variables clave como el tiempo de cepillado, la cantidad de cepillados por ciclo, las dimensiones de las botas y la separación adecuada entre los pies, garantizando así un proceso cómodo para el usuario.

El sistema automatizado para lavado de botas amarillas industriales fue diseñado con un circuito hidráulico que garantiza un flujo continuo y controlado del líquido a lo largo de las tres etapas del proceso. La selección de la bomba periférica y filtro de malla de 50 micras permite una recirculación eficiente, evitando la acumulación de sedimentos y asegurando la calidad del caudal durante el ciclo. Los cálculos de caudales y tiempos por etapa evidencian que la máquina puede atender hasta 514 personas por hora, optimizando tanto el consumo de agua como de detergente y desinfectante respecto al proceso actual. Para un grupo de 250 trabajadores, el agua requerida disminuye de 610.1 L a 164.2 L (disminución de 72%), mientras que los insumos químicos se mantienen proporcionales al número de trabajadores atendidos, mostrando un uso racional de recursos y cumplimiento de los estándares de higiene y seguridad.

La implementación del sistema reduce significativamente el tiempo de tránsito de los operarios. En el proceso actual cada persona se toma 45 segundos aproximadamente para completar la limpieza y desinfección, el sistema diseñado permite finalizar el ciclo en 21 segundos, representando una disminución aproximada de 53%. Esto permite que la planta alcance su operación máxima en menor tiempo, ya que los trabajadores ingresan de manera ágil a sus puestos minimizando los periodos de espera en el área de lavado.

4.1.2 Recomendaciones

Se puede considerar la implementación de un interfaz humano máquina para poder llevar un mejor control y realizar un mejor análisis del proceso que se está llevando. Esto ayudaría a con el registro y un mejor control de los suministros de limpieza que ocupa la máquina.

Se recomienda realizar una revisión posterior a la instalación de las bandas con la intención de asegurar la tensión de las bandas, para esto el sistema cuenta con un ajuste de “ojo chino” pero si es necesario se tendrá que realizar la instalación de una polea tensora para asegurar que el sistema funcione eficientemente.

Referencias

- [1] R. J. Pulgarín Sánchez and R. A. Mora Coello, “Comportamiento de las exportaciones de camarón y su incidencia en el crecimiento económico del Ecuador en el periodo 2011 - 2021,” Universidad Técnica de Machala, Machala, 2022. Accessed: Jun. 11, 2025. [Online]. Available: https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/18463/1/T-27059_PULGARIN%20SANCHEZ%20RAMON%20JACINTO.pdf
- [2] L. E. Taco Lambert and K. H. Pizarro Romero, “Análisis comparativo de las exportaciones de camarón, cacao y banano del Ecuador de los años 2018 - 2022 y su incidencia en la balanza comercial,” Machala, 2023. Accessed: Jun. 11, 2025. [Online]. Available: https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/20861/1/T-28023_TACO%20LAMBERT%20LUIS%20EDUARDO.pdf
- [3] Cámara Nacional de Acuicultura, “Análisis de las Exportaciones de Camarón Diciembre - 2024,” Feb. 2025. Accessed: Jun. 11, 2025. [Online]. Available: <https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fwww.cna-ecuador.com%2Fwp-content%2Fuploads%2F2025%2F02%2F12-Estadisticas-CNA-de-DICIEMBRE-2024-web.xlsx&wdOrigin=BROWSELINK>
- [4] I. Aguirre, C. Andrade, and S. Segovia, “Boletín Analítico Trimestral De Comercio Exterior Cuarto trimestre de 2024,” *Banco Central del Ecuador*, pp. 10–20, 2025, Accessed: Jun. 11, 2025. [Online]. Available: https://contenido.bce.fin.ec/documentos/Estadisticas/SectorExterno/ComercioExterior/informes/ResultCE_042024.pdf
- [5] A. H. Herrera Freire, A. G. Herrera Freire, and V. A. Betancourt Gonzaga, “Vista de Análisis de la proyección de las exportaciones de camarón del Ecuador,” *Revista Científica Agroecosistemas*, pp. 7–12, Aug. 2021, Accessed: Jun. 11, 2025. [Online]. Available: <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/462/439>
- [6] Á. N. Gonzabay Crespín, H. A. Vite Cevallos, V. J. Garzón Montealegre, and P. F. Quizhpe Cordero, “Análisis de la producción de camarón en el Ecuador para su exportación a la Unión Europea en el periodo 2015-2020,” *Universidad Técnica de Machala*, Sep. 2021, Accessed: Jun. 11, 2025. [Online]. Available: <https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/17632/1/TTUACA-2021-EA-DE00027.pdf>
- [7] D. S. Pozo Valdivieso, “Incidencia de las exportaciones del camarón en el crecimiento económico del Ecuador en el período 2009-2019,” Universidad de Guayaquil, 2021.

- Accessed: Jun. 11, 2025. [Online]. Available: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/54502>
- [8] Agencia de Regulación y Control Fito y Zoosanitario, “Instructivo para la limpieza de superficies en contacto con alimentos, transporte de alimentos en su estado primario y alimentos en general previo al consumo.” Accessed: Jun. 10, 2025. [Online]. Available: https://www.agrocalidad.gob.ec/wp-content/uploads/2020/05/0046-Anexo4-Instructivo_higiene-_cadena_alimentos.pdf
- [9] “Bacterias y virus | FoodSafety.gov.” Accessed: Jun. 12, 2025. [Online]. Available: <https://espanol.foodsafety.gov/intoxicaci%C3%B3n-alimentaria-mfkt/bacterias-y-virus>
- [10] P. A. Minda Batallas, “The Environmental and Economic Impacts of Shrimp Production in Ecuador End Esmeraldas,” *Revista de Gestão Social e Ambiental*, vol. 18, no. 5, p. e08220, Jul. 2024, doi: 10.24857/rgsa.v18n5-192.
- [11] G. F. Bermúdez Mosquera, S. S. Suárez Tuarez, A. A. Vallejo Quiroz, N. A. Onefre Carriel, and W. T. Mora Carpio, “Impacto de las exportaciones petroleras y no petroleras sobre la balanza comercial: un análisis econométrico del caso de Ecuador,” *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, vol. V, pp. 114–119, Sep. 2024, Accessed: Jun. 11, 2025. [Online]. Available: <https://latam.redilat.org/index.php/lt/article/view/2594/3243>
- [12] L. Vázquez, “Conozca los países a donde se exporta el camarón ecuatoriano - El Comercio,” Feb. 04, 2025. Accessed: Jun. 11, 2025. [Online]. Available: <https://www.elcomercio.com/actualidad/negocios/conozca-paises-exporta-camaron-ecuatoriano/>
- [13] Banco Central del Ecuador, “Evolución de la Balanza Comercial por Productos, Enero - Diciembre 2021,” Feb. 2022. Accessed: Jun. 09, 2025. [Online]. Available: https://contenido.bce.fin.ec/documentos/informacioneconomica/SectorExterno/ix_ComercioExterior.html
- [14] Cámara Nacional de Acuicultura, “Camarón - Reporte de Exportaciones Ecuatorianas Totales,” 2025. Accessed: Jun. 11, 2025. [Online]. Available: <https://www.cna-ecuador.com/estadisticas/>
- [15] B. Nayzeth *et al.*, “Factores determinantes de la exportación de camarón ecuatoriano: Determinants of ecuadorian shrimp exports,” *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, vol. 5, no. 5, pp. 894-912–894 – 912, Sep. 2024, doi: 10.56712/LATAM.V5I5.2655.

- [16] Subgerencia de Análisis de Productos y Servicios, “FICHA SECTORIAL CAMARÓN SUBGERENCIA DE ANÁLISIS DE PRODUCTOS Y SERVICIOS,” *Corporación Financiera Nacional B.P.*, Mar. 2022, Accessed: Jun. 12, 2025. [Online]. Available: <https://www.cfn.fin.ec/wp-content/uploads/downloads/biblioteca/2022/fichas-sectoriales-1-trimestre/Ficha-Sectorial-Camaron.pdf>
- [17] A. Atahualpa, “Cómo Ecuador se convirtió en el mayor exportador mundial de camarones (y qué papel clave jugó China) - BBC News Mundo,” *BBC News Mundo*, Apr. 21, 2023. Accessed: Jun. 12, 2025. [Online]. Available: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-america-latina-65247655>
- [18] International Organization for Standardization, “Food safety management systems- Requirements for any organization in the food chain INTERNATIONAL STANDARD ISO 22000 ISO 22000:2018(E) ii COPYRIGHT PROTECTED DOCUMENT,” 2018, Accessed: Jun. 12, 2025. [Online]. Available: <http://www.bizna.ir/upload/emn/1593363136.pdf>
- [19] Food & Drug Administration, “FDA Signs Partnership with Ecuador to Enhance Safety of Shrimp Imports | FDA.” Accessed: Jun. 12, 2025. [Online]. Available: <https://www.fda.gov/food/hfp-constituent-updates/fda-signs-partnership-ecuador-enhance-safety-shrimp-imports>
- [20] Electronic Code of Federal Regulations (eCFR), “eCFR :: 21 CFR Part 123 -- Fish and Fishery Products,” U.S. Government Publishing Office. Accessed: Jun. 11, 2025. [Online]. Available: <https://www.ecfr.gov/current/title-21/chapter-I/subchapter-B/part-123>
- [21] Código de Salud establece que el Registro Sanitario, “REGLAMENTO DE BUENAS PRACTICAS PARA ALIMENTOS PROCESADOS,” *Lexis*, Accessed: Jun. 12, 2025. [Online]. Available: <https://www.controlsanitario.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/11/REGLAMENTO-DE-BUENAS-PRACTICAS-PARA-ALIMENTOS-PROCESADOS.pdf>
- [22] Code of Federal Regulations, “eCFR :: 21 CFR Part 117 -- Current Good Manufacturing Practice, Hazard Analysis, and Risk-Based Preventive Controls for Human Food.” Accessed: Jun. 12, 2025. [Online]. Available: <https://www.ecfr.gov/current/title-21/chapter-I/subchapter-B/part-117>
- [23] the National Health and Family Planning Commission of the People’s Republic of China, “NATIONAL STANDARD OF THE PEOPLE’S REPUBLIC OF CHINA 中华人民共和国国家标准 National Food Safety Standard General Hygienic Regulation for Food

- Production 食品安全国家标准 食品生产通用卫生规范 Issued by the National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China Contents,” Jun. 2014, Accessed: Jun. 12, 2025. [Online]. Available: <https://www.ams.usda.gov/sites/default/files/media/GB148812013en.pdf>
- [24] Food Safety Design Taskforce, “Food Safety Equipment Design Principles CHECKLIST & GLOSSARY JULY 2021 EDITION 2021 Food Safety Equipment Design Task Force,” *Foundation for Meat and Poultry Education and Research*, 2021, Accessed: Jun. 12, 2025. [Online]. Available: https://meatinstitute.org/sites/default/files/original%20documents/Sanitation%20booklet%202021.pdf?utm_source=chatgpt.com
- [25] Fundación Nacional de Saneamiento, “NSF Food Equipment Standards,” NFS’s Standards Portafolio. Accessed: Jun. 12, 2025. [Online]. Available: <https://www.nsf.org/nsf-standards/standards-portfolio/food-equipment-standards>
- [26] S. Rossi, S. M. Leso, and M. Calovi, “Study of the Corrosion Behavior of Stainless Steel in Food Industry,” *Materials* 2024, Vol. 17, Page 1617, vol. 17, no. 7, p. 1617, Apr. 2024, doi: 10.3390/MA17071617.
- [27] E. Margas and J. T. Holah, “Personal hygiene in the food industry,” *Hygiene in Food Processing: Principles and Practice: Second Edition*, pp. 408–440, Jan. 2014, doi: 10.1533/9780857098634.3.408.
- [28] S. F. Amass *et al.*, “Evaluating the efficacy of boot baths in biosecurity protocols,” *Journal of Swine Health and Production*, vol. 8, no. 4, pp. 169–173, Jul. 2000, Accessed: Sep. 01, 2025. [Online]. Available: <http://www.aasp.org/shap.html>.
- [29] Wone, “How a Boot Washer Ensures Compliance with Food Safety Regulations?” Accessed: Jun. 11, 2025. [Online]. Available: <https://www.wonehygiene.com/how-boot-washer-ensures-compliance-with-food-safety-regulations-a-178.html>
- [30] “SCRUBBER-DRYER BA 340 08603373(4)2004-05 A BEDIENUNGS-UND WARTUNGSANLEITUNG MANUEL D’EMPLOI ET D’ENTRETIEN USE AND MAINTENANCE MANUAL GEBRUIKERS-EN ONDERHOUDSHANDLEIDING”.
- [31] “WG20 Gear Units and Geared Motors – Brochure,” WEG Equipamentos Elétricos S.A. Accessed: Sep. 01, 2025. [Online]. Available: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h47/h9d/WEG-WMO-WG20-gear-units-and-geared-motors-50116553-brochure-english-web.pdf>
- [32] “Medidas a definir Filamentos a definir Densidades”.

- [33] “Bota Industrial Amarilla Venus 39 S/P - VENUS - Kywi.” Accessed: Sep. 01, 2025. [Online]. Available: <https://www.kywi.com.ec/bota-industrial-amarilla-venus-39-s-p/p?srsltid=AfmBOoqF7DU1cKbzgx41pV1PgY4NvG3o0furbRB3SNUH9EDC0snETjRd>
- [34] S. Communication Support Centre, “P CTP PB M EA 4 P X 3 b07.2 | 2008-10-05”.
- [35] “Bomba Periferica 1/2Hp 110V Paolo - PAOLO - Kywi.” Accessed: Sep. 01, 2025. [Online]. Available: https://www.kywi.com.ec/bomba-periferica-1-2hp-110v-paolo/p?srsltid=AfmBOooedVybpXxDgR0g6-dzK-0bLZuACdg6ivVfUuHsdiC9yQqZ_xEH
- [36] S. De and P. Capacitivos, “A B C D E F H I J K L M N O P Q R S T CQ35-25NPP-KC1 | CQ”, Accessed: Sep. 01, 2025. [Online]. Available: www.sick.com/CQ
- [37] L. LastNameYUEQING HENGWEI ELECTRONICS CO., “Cylinder Inductive Proximity Switch Series Datasheet,” YUEQING HENGWEI ELECTRONICS CO., LTD. Accessed: Sep. 01, 2025. [Online]. Available: https://naylampmechatronics.com/img/cms/000980_Datasheet_Cylinder-Inductive-Proximity-Switch-Series.pdf
- [38] “E18-D80NK Datasheet,” TETTSA. Accessed: Sep. 01, 2025. [Online]. Available: <https://tienda.tetsa.gt/wp-content/uploads/2021/08/E18-D80NK-datasheet.pdf>
- [39] “A B C D E F H I J K L M N O P Q R S T”, Accessed: Sep. 01, 2025. [Online]. Available: www.sick.com/UM18
- [40] “CAD Central | Cono lleno | Métrico | Spraying Systems Co. Sucursal Argentina.” Accessed: Sep. 01, 2025. [Online]. Available: <https://www.spray.com/es-ar/recursos/cad-central/cad-central-cono-lleno-m%C3%A9trico>

Apéndices

Apéndice A

Ventajas y desventajas de cada criterio por alternativa de solución

Tabla 23

Comparación

*Tabla de comparación cualitativa por ventaja y desventaja de cada criterio de selección
(Alternativa A)*

Criterio	Ventaja	Desventaja
Limpieza	Los equipos utilizados así mismo como los químicos y desinfectantes a incorporarse resultan en una buena limpieza de las botas.	La gestión del líquido desinfectante depende del usuario por lo que una correcta limpieza no puede ser garantizada sin una correcta responsabilidad.
Facilidad de uso	El sistema cuneta de 2 módulos muy directos, la señalética apropiada e indicaciones para la correcta limpieza facilitan en proceso de lavado del calzado.	El sistema no es completamente automático y sigue dependiendo del usuario.
Eficiencia	El sistema consta de dos procesos a pasos de distancia por lo que se podría completar en un tiempo relativamente corto.	A algunas personas les podrá tomar mayor tiempo completar ciertas tareas por lo que se genera un cuello de botella y tiempos muertos en uno de los dos módulos.
Dimensiones	Varios módulos instalados en el área disponible.	Ergonomía no adecuada para personas mayores o poco ágiles acorde a su contextura corporal.
Mantenimiento	El diseño solo requiere del intercambio de las soluciones desinfectantes periódicamente.	Puede que algunos líquidos se terminen antes que otros por lo que sería necesario tener a alguien constantemente rellenando los reservorios.

Tabla 24*Comparación cualitativa por ventaja y desventaja de cada criterio de selección (Alternativa B)*

Criterio	Ventaja	Desventaja
Limpieza	Al contar con una banda transportadora el sistema asegura que el usuario no necesite realizar un esfuerzo mayor durante el proceso.	La implementación de una banda transportadora para facilitar el movimiento influye en la aplicación de un motor capaz de soportar la carga de las personas montadas en la banda. Esto significa un mayor costo de producción y diseño del sistema.
Facilidad de uso	El sistema es capaz de realizar el proceso para 3 usuarios simultáneamente, por lo que el flujo de personal aumentaría. Esto aporta al tiempo de producción, disminuyendo el tiempo muerto generado al comienzo de la jornada y a la hora del almuerzo	Es necesario una revisión del costo energético que se genera al usar una maquinaria tan potente y si justifica la eficiencia del proceso. Todo esto considerando el uso de al menos 2 motores para el funcionamiento del sistema.
Eficiencia	Un sistema amplio permite que varios usuarios puedan utilizar el sistema en simultaneo, así mismo permite que cada una de las etapas se realice de manera de correcta utilizando los materiales necesarios.	Un sistema de 6 etapas donde 3 usuarios realicen el proceso simultáneamente requiere un espacio físico lo suficientemente grande. No es ideal un diseño para un espacio menor a 100 m2.
Dimensiones	El diseño de los espacios con 6 fases permite que hasta 3 usuarios en simultaneo puedan realizar el proceso de lavado.	La transferencia de potencia entre los ejes requiere del uso de bandas y poleas, además del mantenimiento de los motores y el cuidado que se debe de tener al estar en un ambiente húmedo.
Mantenimiento	Al contar con una banda transportadora el sistema asegura que el usuario no necesite realizar	La implementación de una banda transportadora para facilitar el movimiento influye en la aplicación de

Criterio	Ventaja	Desventaja
	un esfuerzo mayor durante el proceso.	un motor capaz de soportar la carga de las personas montadas en la banda. Esto significa un mayor costo de producción y diseño del sistema.

Tabla 25

Comparación cualitativa por ventaja y desventaja de cada criterio de selección (Alternativa C)

Criterio	Ventaja	Desventaja
Limpieza	Los cepillos cilíndricos giratorios proporcionan una limpieza más uniforme y consistente que el cepillado manual. El sistema de enjuague automático garantiza la eliminación efectiva de residuos.	La piscina de desinfectante en la tercera etapa podría acumular residuos con el uso continuo, requiriendo limpieza frecuente para mantener su efectividad.
Facilidad de uso	Sistema intuitivo con indicaciones luminosas que guían al usuario a través del proceso. No requiere esfuerzo físico significativo para la limpieza.	Depende de que el usuario siga correctamente las indicaciones visuales para avanzar entre etapas, lo que podría generar confusión en usuarios nuevos.
Eficiencia	Permite que dos operarios utilicen el sistema simultáneamente, reduciendo tiempos de espera. El proceso completo es más rápido que el lavado manual tradicional.	La capacidad limitada a dos usuarios podría crear cuellos de botella en cambios de turno o momentos de alta afluencia de personal.
Dimensiones	Diseño compacto que se ajusta al espacio disponible de 5000 x 1500 mm, optimizando el uso del área asignada para la estación de limpieza.	La distribución en tres etapas secuenciales requiere un espacio lineal que podría dificultar su instalación en áreas con configuraciones irregulares.
Mantenimiento	Los componentes mecánicos están separados del sistema	Los cepillos giratorios requieren mantenimiento periódico y eventual

hidráulico, facilitando el acceso para mantenimiento. Las partes móviles son de fácil reemplazo.

reemplazo por desgaste. Los motores y bombas necesitan revisiones regulares para asegurar su funcionamiento óptimo.

Apéndice B

Selección de bandas y poleas

Requerimientos:

Velocidad del motor: 700 rpm

Potencia del motor: 1.5 Kw

Velocidad de cepillo: 300 rpm

Uso: 2 h/día

1. Se obtuvo el factor de servicio dependiendo de las condiciones de uso del equipo. Se consideró el sistema con un arranque suave debido al uso de variador de frecuencia y una clase 2 de trabajo medio.

Figura 32

Selección de tipo de actuador

Table 2	
Types of prime mover	
Soft starts Electric motors:	Heavy starts Electric motors:
AC – Star delta start	AC – Direct-on-line start
DC – Shunt wound	DC – Series and compound wound
Internal combustion engines with 4 or more cylinders	Internal combustion engines with less than 4 cylinders.
Prime movers fitted with centrifugal clutches, dry or fluid couplings or electronic soft start devices	Prime movers not fitted with soft start devices

Nota. Figura tomada del manual SKF para selección de bandas [34].

Figura 33

Tipo de equipo a mover

Types of driven machinery		Soft starts Duty time h/day 10 and under Over 10 to 16 Over 16			Heavy starts Duty time h/day 10 and under Over 10 to 16 Over 16		
Class 1 Light duty	Blowers, exhausters and fans (up to 7,5 kW), centrifugal compressors and pumps. Belt conveyors (uniformly loaded).	1,0	1,1	1,2	1,1	1,2	1,3
Class 2 Medium duty	Agitators (uniform density), blowers, exhausters and fans (over 7,5 kW). Rotary compressors and pumps (other than centrifugal). Belt conveyors (not uniformly loaded), generators and exciters, laundry machinery, lineshafts, machine tools, printing machinery, sawmill and woodworking machinery, screens (rotary).	1,1	1,2	1,3	1,2	1,3	1,4
Class 3 Heavy duty	Agitators and mixers (variable density), brick machinery, bucket elevators, compressors and pumps (reciprocating), conveyors (heavy duty). Hoists, mills (hammer), pulverisers, punches, presses, shears, quarry plant, rubber machinery, screens (vibrating), textile machinery.	1,2	1,3	1,4	1,4	1,5	1,6
Class 4 Extra heavy duty	Crushers (gyratory-jaw roll), mills (ball-rod-tube).	1,3	1,4	1,5	1,5	1,6	1,8

Nota. Figura tomada del manual SKF para selección de bandas [34].

Se calculó la potencia de diseño a partir de la potencia del motor y el factor de servicio calculado en el paso 1.

$$P_d = P_r C_2 \quad (B.1)$$

Donde:

$$P_r = 1.49 \text{ [Kw]}$$

$$C_2 = 1.1$$

Se calculó.

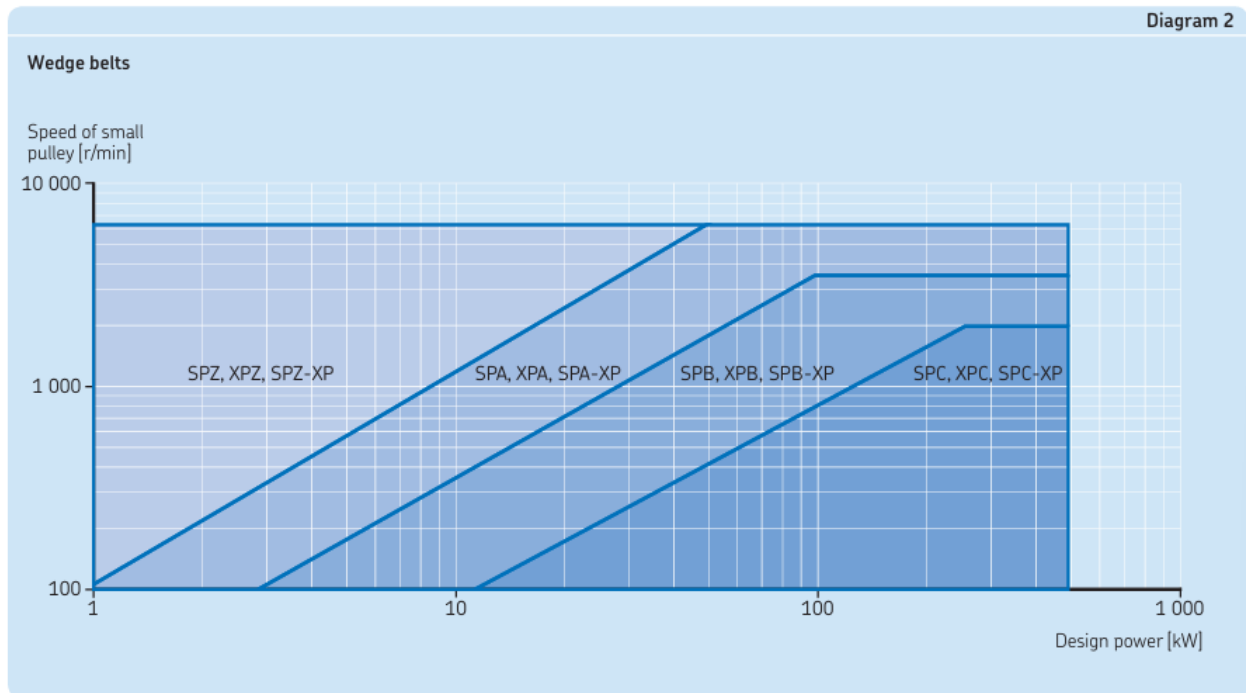
$$P_d = 1.49 * 1.1$$

$$P_d = 1.64 \text{ [Kw]}$$

Se escogió la sección de la banda a partir de la potencia de diseño y de la velocidad de la polea más pequeña del sistema.

Figura 34

Bandas trapezoidales



Nota. Figura tomada del manual SKF para selección de bandas [34].

Se escogió la banda SPZ.

Se calculó la relación de velocidad de las dos poleas.

$$I_r = \frac{rpm \text{ (polea mas rapida)}}{rpm \text{ (polea mas lenta)}} \quad (\text{B.2})$$

$$I_r = \frac{700}{300}$$

Se define el diámetro de las poleas siguiendo la tabla de referencias del fabricante con respecto a la proporción de velocidad deseado.

Figura 35

Diámetro de referencia de la polea

Proporción de velocidad por diámetros

Pulley datum diameter [mm]																										
		50	56	60	63	67	71	75	80	85	90	95	100	106	112	118	125	132	140	150	160	170	180	190	200	212
mm		—																								
50	1	1,12	1,20	1,26	1,34	1,42	1,50	1,60	1,70	1,80	1,90	2	2,12	2,24	2,36	2,50	2,64	2,80	3	3,20	3,40	3,60	3,80	4	4,24	
56	1	1,07	1,13	1,20	1,27	1,34	1,43	1,52	1,61	1,70	1,79	1,89	2	2,11	2,23	2,36	2,50	2,68	2,86	3,04	3,21	3,39	3,57	3,79		
60		1	1,05	1,12	1,18	1,25	1,33	1,42	1,50	1,58	1,67	1,77	1,87	1,97	2,08	2,20	2,33	2,50	2,67	2,83	3	3,17	3,33	3,53		
63			1	1,06	1,13	1,19	1,27	1,35	1,43	1,51	1,59	1,68	1,78	1,87	1,98	2,10	2,22	2,38	2,54	2,70	2,86	3,02	3,17	3,37		
67				1	1,06	1,12	1,19	1,27	1,34	1,42	1,49	1,58	1,67	1,76	1,87	1,97	2,09	2,24	2,39	2,54	2,69	2,84	2,99	3,16		
71					1	1,06	1,13	1,20	1,27	1,34	1,41	1,49	1,58	1,66	1,76	1,86	1,97	2,11	2,25	2,39	2,54	2,68	2,82	2,99		
75						1	1,07	1,13	1,20	1,27	1,33	1,41	1,49	1,57	1,67	1,76	1,87	2	2,13	2,27	2,40	2,53	2,67	2,83		
80							1	1,06	1,13	1,19	1,25	1,33	1,40	1,48	1,56	1,65	1,75	1,88	2	2,13	2,25	2,38	2,50	2,65		
85								1	1,06	1,12	1,18	1,25	1,32	1,39	1,47	1,55	1,65	1,76	1,88	2	2,12	2,24	2,35	2,49		
90									1	1,06	1,11	1,18	1,24	1,31	1,39	1,47	1,56	1,67	1,78	1,89	2	2,11	2,22	2,36		
95										1	1,05	1,12	1,18	1,24	1,32	1,39	1,47	1,58	1,68	1,79	1,89	2	2,11	2,23		
100											1	1,06	1,12	1,18	1,25	1,32	1,40	1,50	1,60	1,70	1,80	1,90	2	2,12		
106												1	1,06	1,11	1,18	1,25	1,32	1,42	1,51	1,60	1,70	1,79	1,89	2		
112													1	1,05	1,12	1,18	1,25	1,34	1,43	1,52	1,61	1,70	1,79	1,89		
118														1	1,06	1,12	1,19	1,27	1,36	1,44	1,53	1,61	1,69	1,80		
125															1	1,06	1,12	1,20	1,28	1,36	1,44	1,52	1,60	1,70		
132																1	1,06	1,14	1,21	1,29	1,36	1,44	1,52	1,61		
140																	1	1,07	1,14	1,21	1,29	1,36	1,43	1,51		
150																		1	1,07	1,13	1,20	1,27	1,33	1,41		
160																			1	1,06	1,13	1,19	1,25	1,33		
170																				1	1,06	1,12	1,18	1,25		
180																					1	1,06	1,11	1,18		
190																						1	1,05	1,12		
200																							1	1,06		
212																								1		

Nota. Figura tomada del manual SKF para selección de bandas [34].

Se procedió a estimar una distancia entre centros basándonos en los diámetros de las poleas.

$$0.7(118 + 67) < CC_p < 2(118 + 67)$$

$$159 < CC_p < 454$$

Por lo que se selecciono

$$CC_p = 300$$

Basándonos en este valor podemos estimar una longitud para la banda que vamos a utilizar

$$L_d = 2CC_p + 1.57(D + d) + \frac{(D - d)^2}{8CC_p} \quad (B.3)$$

$$L_d = 767 \text{ mm}$$

Utilizando esta aproximación se calculó la verdadera distancia entre los centros.

$$CC = \frac{a \pm \sqrt{a^2 - 8(D - d)^2}}{8} \quad (B.4)$$

Donde

$$a = 2L_d - \pi(D - d) \quad (\text{B.5})$$

$$a = 1221.83$$

Por lo tanto

$$CC = 302 \text{ [mm]}$$

Se calculó la potencia de cada banda.

Figura 36

Potencia de banda

Faster shaft speed	Rated power per belt for small pulley datum diameter [mm]					
	67	71	75	80	85	90
r/min	kW					
100	0,11	0,13	0,14	0,16	0,17	0,19
500	0,45	0,51	0,57	0,65	0,72	0,80
720	0,61	0,69	0,78	0,89	0,99	1,10
800	0,66	0,76	0,85	0,97	1,09	1,20
900	0,73	0,83	0,94	1,07	1,20	1,33

Nota Figura tomada del manual SKF para selección de bandas [34].

Figura 37

Corrección de potencia por proporción de velocidad

Additional power per belt for speed ratio			
1,00 to 1,05	1,06 to 1,24	1,25 to 1,59	> 1,59
kW			
–	0,01	0,01	0,01
0,01	0,03	0,06	0,06
0,01	0,05	0,08	0,09
0,01	0,05	0,09	0,10
0,01	0,06	0,10	0,11

Nota. Figura tomada del manual SKF para selección de bandas [34].

$$P_b = 0.6 + 0.09$$

$$P_b = 0.69$$

Se escogió el factor de corrección de arco C3 y el factor de corrección por longitud de banda C1.

Figura 38

Corrección por arco de contacto

Arc of contact power correction factor C_3		
$\frac{D-d}{CC} *$	Arc of contact on small pulley	Arc of contact correction factor C_3
mm	deg.	—
0,00	180	1,00
0,05	177	0,99
0,10	174	0,99
0,15	171	0,98
0,20	169	0,97
0,25	166	0,97
0,30	163	0,96
0,35	160	0,95
0,40	157	0,94

Nota. Figura tomada del manual SKF para selección de bandas [34].

$$\frac{D-d}{CC} = 0.30$$

$$C_3 = 0.96$$

Figura 39

Corrección por longitud de banda

Table 8									
Belt length correction factor C_1									
Belt length	Correction factor								
	SPZ	SPA	SPB	SPC	8V	Z	A	B	C
	SPZ-XP	SPA-XP	SPB-XP	SPC-XP	8V-XP	ZX	AX	BX	CX
	XPZ	XPA	XPB	XPC					
	3V		5V						
	3V-XP		5V-XP						
	3VX		5VX						
mm	—								
400	0,50					0,87	0,68		
475	0,65					0,90	0,74	0,64	
530	0,74					0,93	0,78	0,70	
630	0,82	0,77				0,96	0,81	0,76	
710	0,84	0,79				0,99	0,83	0,78	
900	0,88	0,83	0,76			1,05	0,87	0,82	0,73

Nota. Figura tomada del manual SKF para selección de bandas [34].

$$C_1 = 0.84$$

Se calculó la potencia de la banda con las correcciones

$$P_r = P_b + C_1 + C_3 \quad (\text{B.6})$$

$$P_r = 0.55$$

Se calculó la cantidad de bandas necesarias para la potencia de entrada

$$N = \frac{P_d}{P_r} \quad (\text{B.7})$$

$$N = 2.94$$

Redondeando al siguiente entero

$$N = 3$$

Disoluciones de agentes químicos

Tabla 26

Disolución de detergente alcalino neutro

Aplicación	Concentración recomendada
Limpieza ligera (superficial)	1:100 (1 l de DL-10 por 100 litros de agua)
Limpieza media	1:50
Limpieza pesada o zonas muy contaminadas	1:20
Aplicación directa (puro)	Sobre manchas localizadas

Nota.

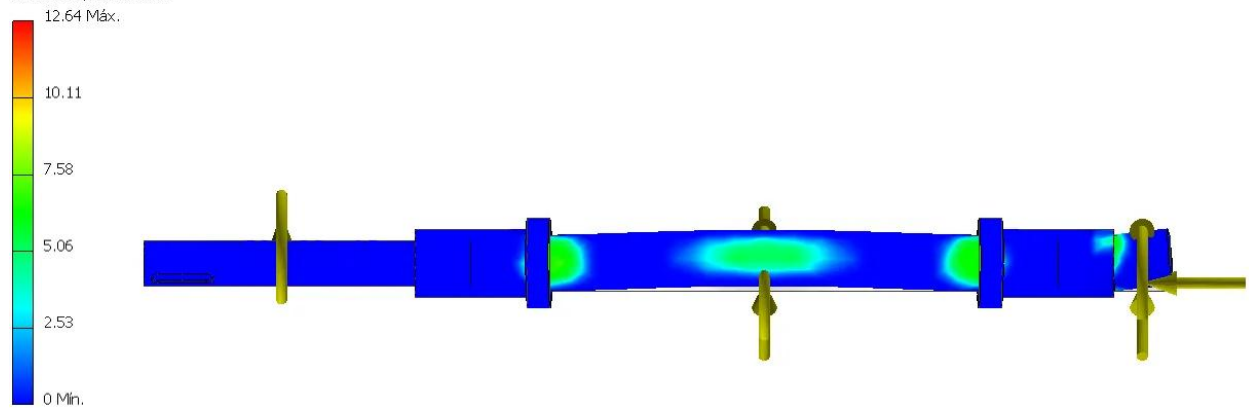
Apéndice C

Eje principal

Figura 40

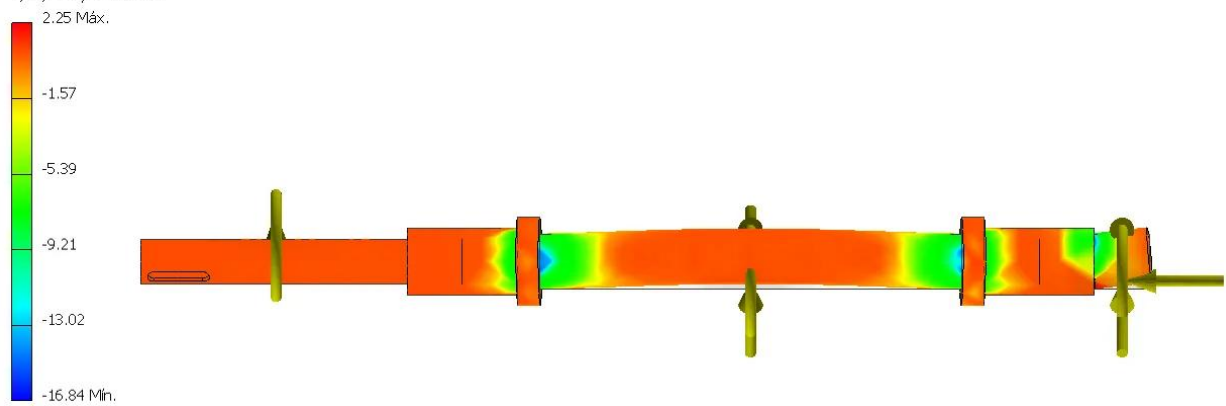
Análisis de tensión del eje principal

Tipo: Tensión de Von Mises
Unidad: MPa
8/27/2025, 4:41:40 PM



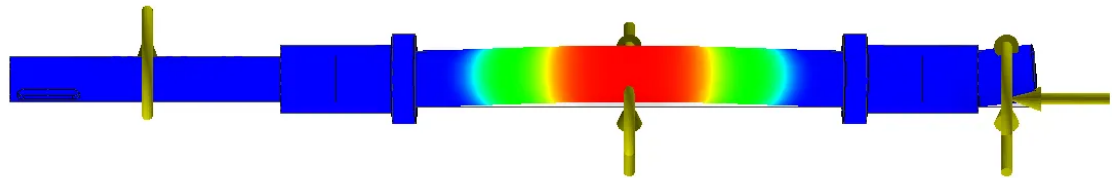
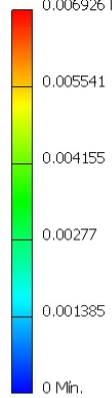
a

Tipo: Tercera tensión principal
Unidad: MPa
8/27/2025, 4:42:19 PM



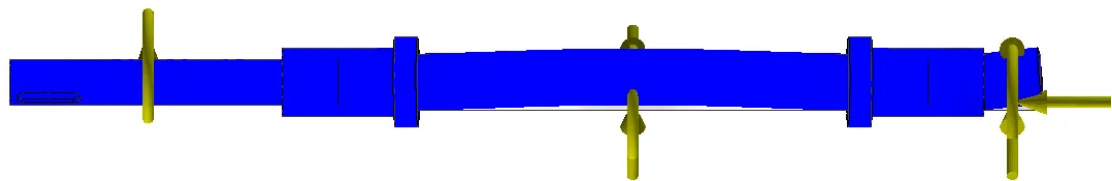
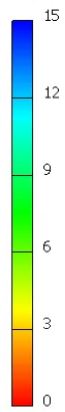
b

Tipo: Desplazamiento
Unidad: mm
8/27/2025, 4:42:38 PM
0.006926 Mx.



c

Tipo: Coeficiente de seguridad
Unidad: su
8/27/2025, 4:42:51 PM



d

Nota. a: Esfuerzo de Von Mises, b: Tercer esfuerzo maximo de Von Mises, c: Desplazamiento máximo, d: Coeficiente de seguridad

Eje suela del cepillo de suela derecha

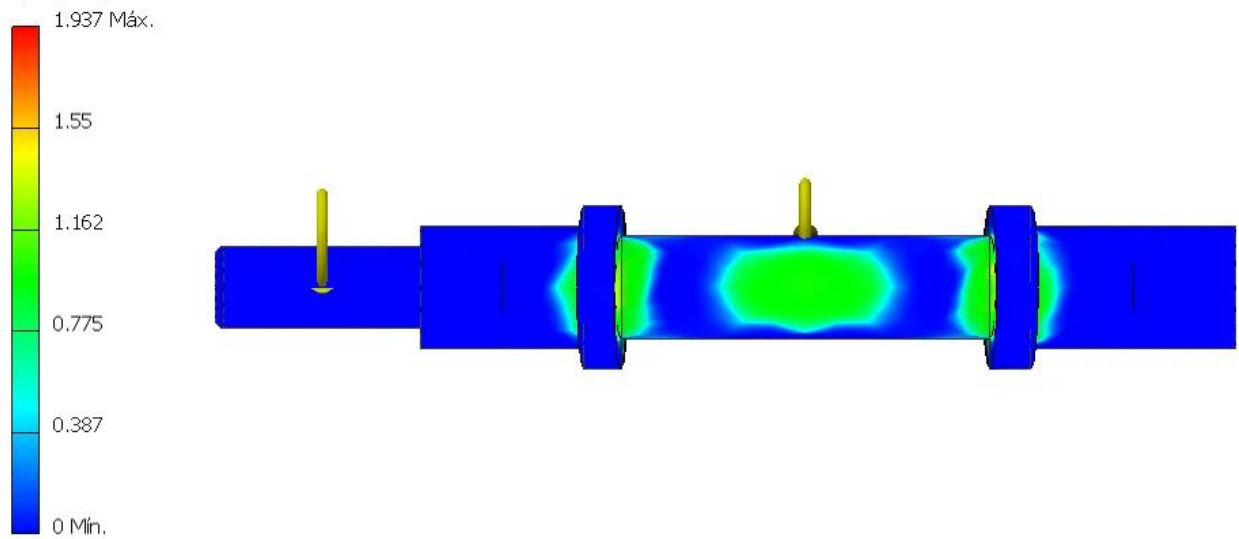
Figura 41

Análisis de tensión del eje de cepillo de la suela derecha

Tipo: Tensión de Von Mises

Unidad: MPa

8/27/2025, 4:44:49 PM

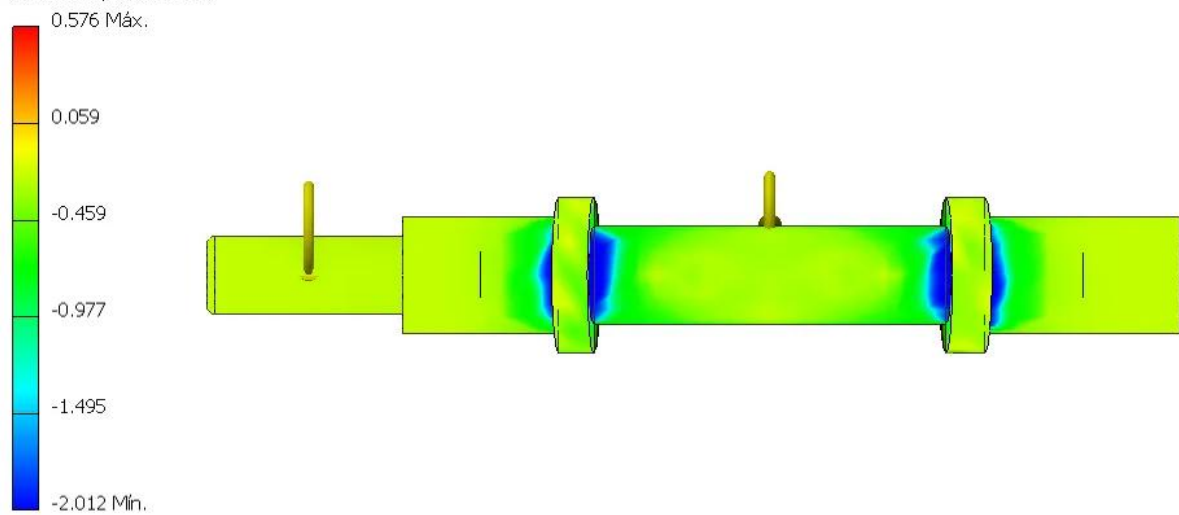


a

Tipo: Tercera tensión principal

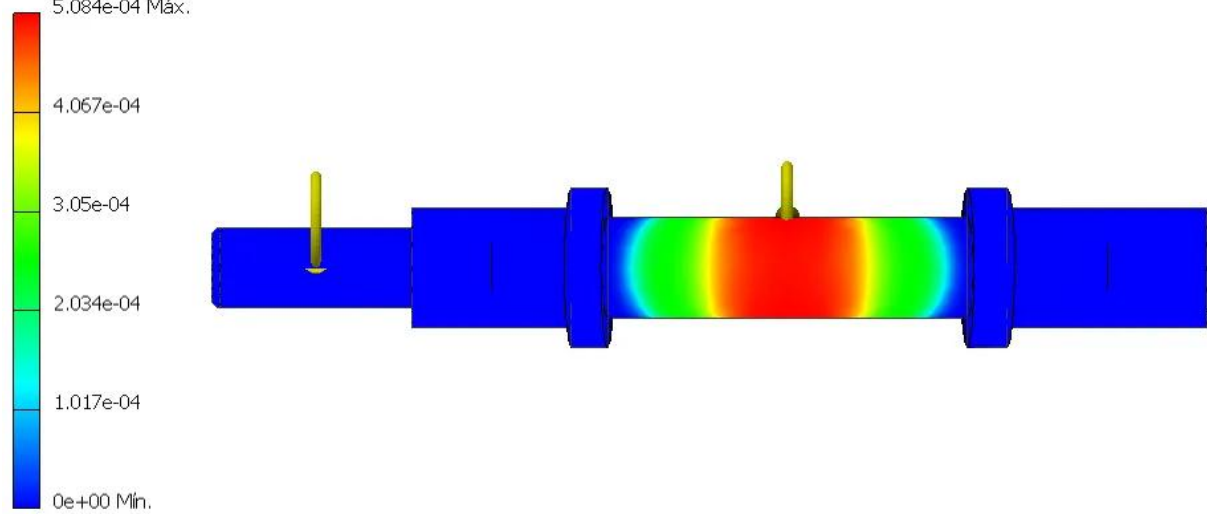
Unidad: MPa

8/27/2025, 4:45:29 PM



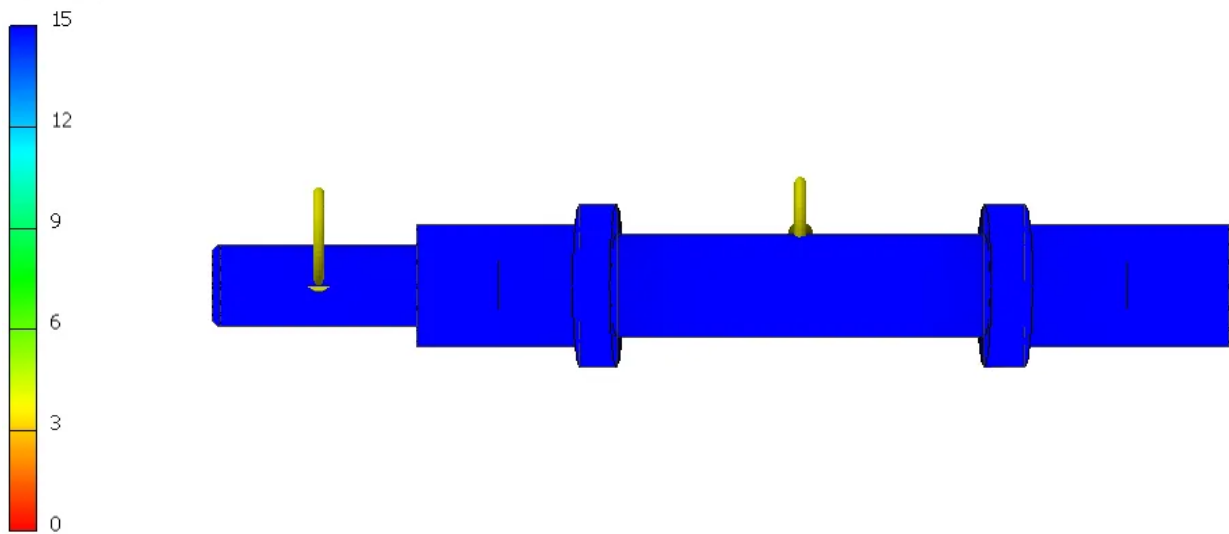
b

Tipo: Desplazamiento
Unidad: mm
8/27/2025, 4:45:40 PM
5.084e-04 Máx.



c

Tipo: Coeficiente de seguridad
Unidad: su
8/27/2025, 4:45:50 PM



d

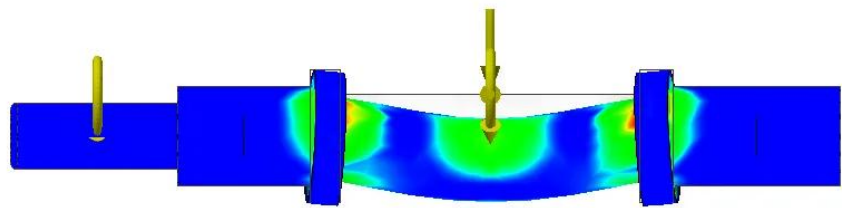
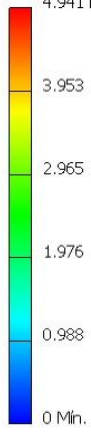
Nota. a: Esfuerzo de Von Mises, b: Tercer esfuerzo maximo de Von Mises, c: Desplazamiento máximo, d: Coeficiente de seguridad

Eje cepillo de suela izquierdo

Figura 42

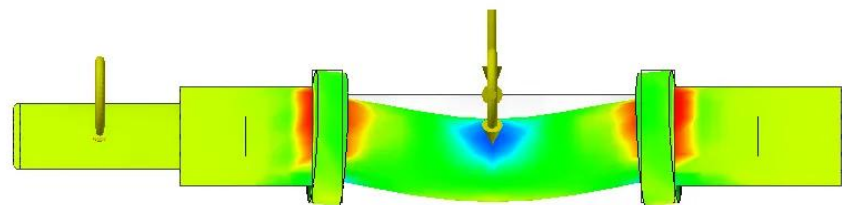
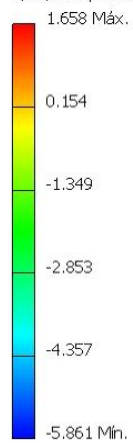
Análisis de tensión de cepillo de suela izquierda

Tipo: Tensión de Von Mises
Unidad: MPa
8/27/2025, 12:18:24 PM
4.941 Máx.



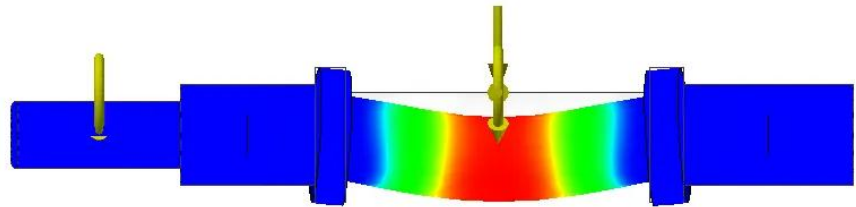
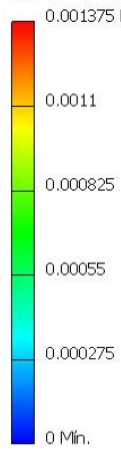
a

Tipo: Tercera tensión principal
Unidad: MPa
8/27/2025, 12:26:27 PM



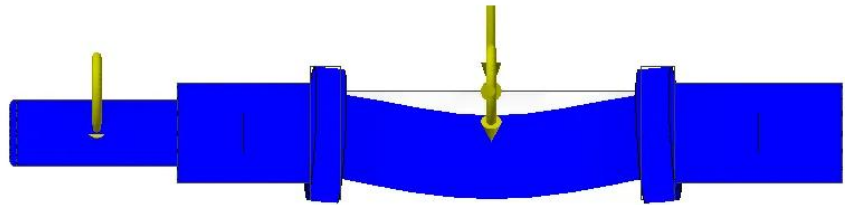
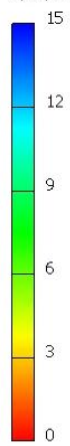
b

Tipo: Desplazamiento
Unidad: mm
8/27/2025, 12:26:44 PM



c

Tipo: Coeficiente de seguridad
Unidad: su
8/27/2025, 12:27:23 PM



d

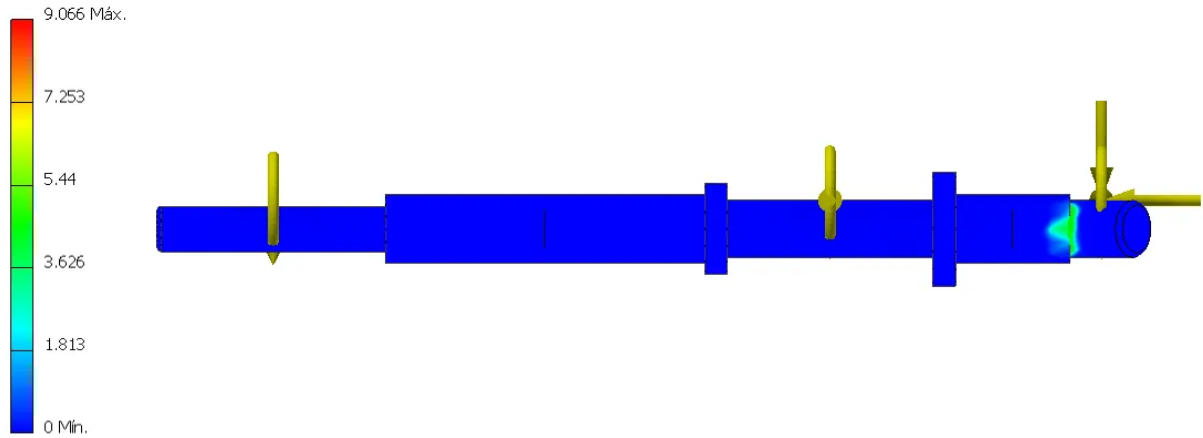
Nota. a: Esfuerzo de Von Mises, b: Tercer esfuerzo maximo de Von Mises, c: Desplazamiento máximo, d: Coeficiente de seguridad

Eje lateral

Figura 43

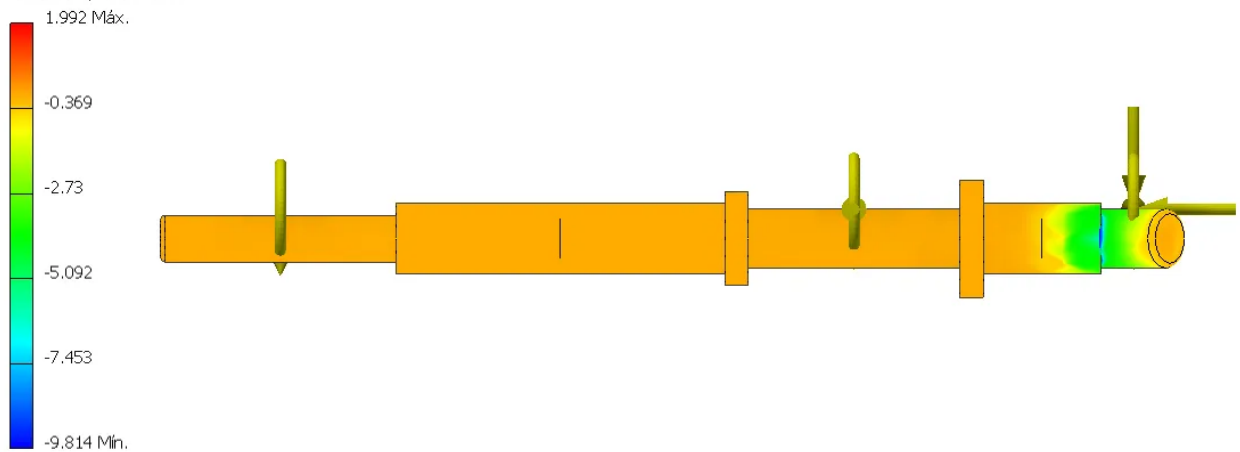
Análisis de tensión de eje de cepillo lateral

Tipo: Tensión de Von Mises
Unidad: MPa
8/27/2025, 4:48:05 PM



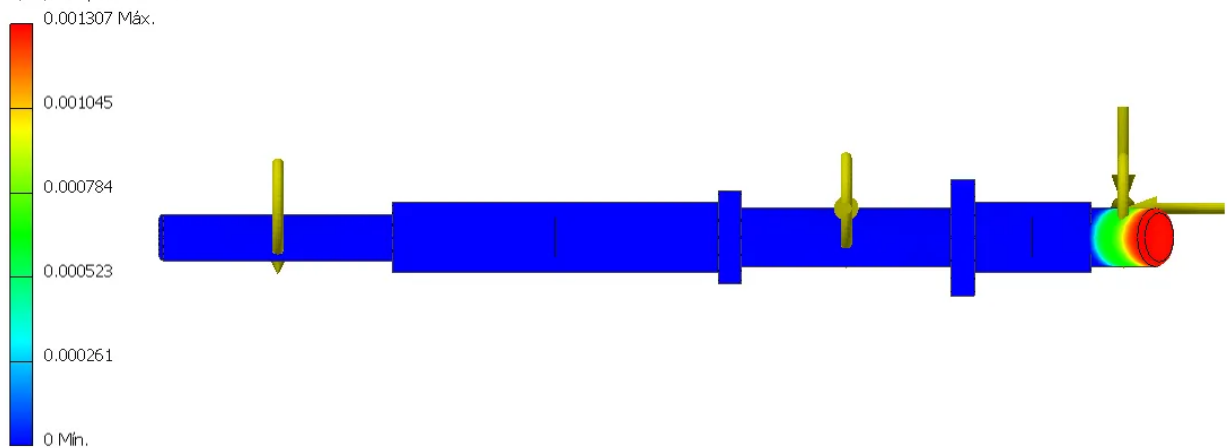
a

Tipo: Tercera tensión principal
Unidad: MPa
8/27/2025, 4:50:40 PM



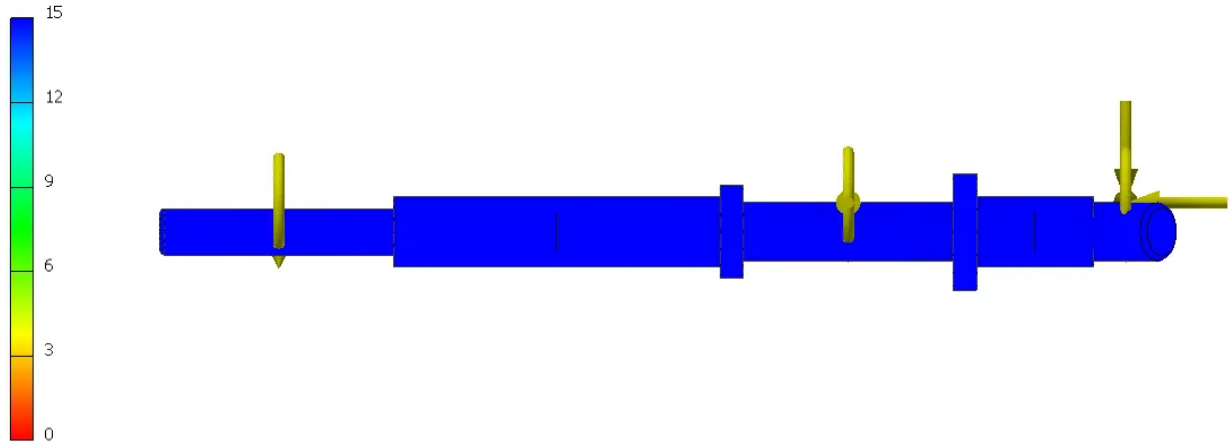
b

Tipo: Desplazamiento
Unidad: mm
8/27/2025, 4:50:51 PM



c

Tipo: Coeficiente de seguridad
Unidad: su
8/27/2025, 4:51:03 PM



d

Nota. a: Esfuerzo de Von Mises, b: Tercer esfuerzo maximo de Von Mises, c: Desplazamiento máximo, d: Coeficiente de seguridad

Apéndice D

Diseño suministro de solución detergente de etapa 1

Descripción de boquilla de aspersión estándar cono lleno seleccionada

Tabla 27

Parámetros de rendimiento de la boquilla HH de pulverización de cono lleno

Descripción	Valores
Diámetro de orificio de salida	0.79 mm
Conexión de entrada	1/8" NPT
Presión de operación	1.5 bar (21.75 psi)
Caudal	0.54 L/min
Ángulo de aspersión	58°
Cobertura teórica – 20 cm de distancia desde la salida de la boquilla	22 cm

Nota. Información obtenida del catálogo de tecnología de pulverización industrial [40]

Longitud de tubería recta de 2 945 m, se calculó en base a tubo de acero inoxidable sin soldadura, medidas imperiales en la Tabla 28. Presiones de servicio admisibles calculadas en base a las ecuaciones de ASME 31.3 y ASME 31.1. Longitud nominal del tubo de 6 m.

Tabla 28

Presión de servicio admisible de tubo de acero inoxidable sin soldadura 304

Ø ext. del tubo (pulg.)	Pared del tubo (pulg.)	Peso (kg/m)	Presión de servicio (psi)
1/2	0.035	0.26	2 600

Nota. Los valores presentados se obtuvieron del catálogo técnico de Swagelok , calculados para tubo ASTM A269 a una temperatura de -28 a 37 °C (-20 a 100 °F), de acuerdo con ASME B31.3 y ASME B31.1

La viscosidad de agua es $1.004 \times 10^{-6} \left(\frac{m^2}{s} \right)$ y agua con 5% de detergente es $1.424 \times 10^{-6} \left(\frac{m^2}{s} \right)$

Cálculo de parámetros de entrada del sistema

Velocidad de flujo en tubería

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{9 \times 10^{-6} \cdot 8}{\pi \cdot (0.005905)^2} \quad (D.1)$$

$$\therefore v = 0.6573 \left[\frac{m}{s} \right]$$

Número de Reynolds (flujo turbulento o laminar)

$$Re = \frac{vD}{\nu} = \frac{0.6573 \cdot 0.0118}{1.424 \times 10^{-6}} = 5\,446.73 \quad (D.2)$$

$$Re = 5\,446$$

$\therefore Re > 4000$, el flujo es turbulento.

Cálculo del factor de fricción (f) con formula de Swamee-Jain

$$f = \frac{0.25}{\left[\log_{10} \left(\frac{\varepsilon/D}{3.7} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2} \quad (D.3)$$

$$f = \frac{0.25}{\left[\log_{10} \left(\frac{0.0000015/0.0118}{3.7} + \frac{5.74}{(5\,446)^{0.9}} \right) \right]^2}$$

$$\therefore f = 0.0563$$

Perdida por fricción en tubería recta

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (D.4)$$

$$h_f = 0.0563 \cdot \frac{2.606}{0.0118} \cdot \frac{(0.6573)^2}{2 \times 9.8067}$$

$$\therefore h_f = 0.273 \text{ m.c.a.}$$

Perdida por accesorios (h_{acc})

Tabla 29*Pérdidas de fricción aproximada en accesorios de tubería equivalentes de tubería recta*

Accesorio	K	Cantidad	Acumulado
Codo 45 °	0.24	7	1.68
Válvula de verificación, tipo bola	0.11	1	0.11
Válvula solenoide	0.11	1	0.11
Boquilla de aspersión	1.1	8	8.8
<i>K_{total}</i>			10.7

Nota. Valores obtenidos de la referencia técnica de la estimación de caída de presión a través de accesorios de líneas de fluido obtenida por el catálogo de Spray System Co[40].

$$h_{acc} = K_{total} \times \frac{v^2}{2g} = 10.7 \cdot \frac{(0.6573)^2}{2 \cdot 9.8067} \quad (D.5)$$

$$\therefore h_{acc} = 0.235 \text{ m}$$

Pérdidas totales

$$H_{total} = h_f + h_{acc} = 0.273 + 0.235 \quad (D.6)$$

$$\therefore H_{total} = 0.508 \text{ m}$$

Presión manométrica equivalente

$$P_{manométrica} = \rho g H_{total} = 1\,000 \cdot 9.8067 \cdot 0.508 \quad (D.7)$$

$$\therefore P_{manométrica} = 4\,981.8 \text{ Pa} = 0.7 \text{ psi}$$

Presión de entrada al sistema

$$P_{entrada} = P_{boquilla} + P_{manométrica} \quad (D.8)$$

$$P_{entrada} = 21.75 + 0.72$$

$$\therefore P_{entrada} = 22.47$$

Factor de seguridad

$$N = \frac{P_{tubería}}{P_{sistema}} \quad (D.9)$$

$$N = \frac{2\,600\,psi}{22.4\,psi}$$

$$N = 116$$

Diseño suministro de agua de etapa 2

Descripción de boquilla de aspersión plana seleccionada

Tabla 30

Parámetros de rendimiento de la boquilla H-VV de pulverización plana

Descripción	Valores
Diámetro de orificio de salida	0.66 mm
Conexión de entrada	1/4" NPT
Presión de operación	4 bar (58 psi)
Caudal	0.46 L/min
Ángulo de aspersión	40°
Cobertura teórica – 25 cm de distancia desde la salida de la boquilla	18.2 cm
Cobertura teórica – 30 cm de distancia desde la salida de la boquilla	21.8 cm

Nota. Valores obtenidos del catálogo de tecnología de pulverización industrial [40]

Longitud de tubería recta de 2 606 m, se calculó en base a tubo de acero inoxidable sin soldadura, medidas imperiales en tabla_. La viscosidad de agua es $1.004 \times 10^{-6} \left(\frac{m^2}{s}\right)$

Cálculo de parámetros de entrada del sistema

Velocidad de flujo en tubería

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{7.7 \times 10^{-6} \cdot 4}{\pi \cdot (0.005905)^2}$$

$$\therefore v = 1.13 \left[\frac{m}{s} \right]$$

Número de Reynolds (flujo turbulento o laminar)

$$Re = \frac{vD}{\nu} = \frac{1.13 \cdot 0.0118}{1.004 \times 10^{-6}} \quad (D.10)$$

$$Re = 13\,284$$

$\therefore Re > 4\,000$, el flujo es turbulento.

Cálculo del factor de fricción (f) con formula de Swamee-Jain

$$f = \frac{0.25}{\left[\log_{10} \left(\frac{\varepsilon/D}{3.7} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2}$$

$$f = \frac{0.25}{\left[\log_{10} \left(\frac{0.0000015/0.0118}{3.7} + \frac{5.74}{(13\,284)^{0.9}} \right) \right]^2}$$

$$\therefore f = 0.03$$

Pérdida por fricción en tubería recta

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

$$h_f = 0.0325 \cdot \frac{2.606}{0.0118} \cdot \frac{(1.13)^2}{2 \cdot 9.8067}$$

$$\therefore h_f = 0.431 \, m$$

Pérdida por accesorios (h_{acc})

Tabla 31*Pérdidas de fricción aproximada en accesorios de tubería equivalentes de tubería recta*

Accesorio	K	Cantidad	Acumulado
Codo 45 °	0.24	8	1.68
Válvula de verificación, tipo bola	0.11	1	0.11
Válvula solenoide	0.11	1	0.11
Boquilla de aspersión	1.1	4	4.40
<i>K_{total}</i>			6.3

Nota. Referencia técnica de la estimación de caída de presión a través de accesorios de líneas de fluido obtenida por el catálogo de Spray System Co [40].

$$h_{acc} = K_{total} \times \frac{v^2}{2g} = 6.3 \cdot \frac{(1.13)^2}{2 \cdot 9.8067}$$

$$\therefore h_{acc} = 0.410 \text{ m}$$

Pérdidas totales

$$H_{total} = h_f + h_m = 0.431 + 0.41$$

$$\therefore H_{total} = 0.841 \text{ m}$$

Presión manométrica equivalente

$$P_{manométrica} = \rho g H_{total} = 1\,000 \cdot 9.8067 \cdot 0.841$$

$$\therefore P_{manométrica} = 8\,247 \text{ Pa} = 1.19 \text{ psi}$$

Presión de entrada al sistema

$$P_{entrada} = P_{boquilla} + P_{manométrica}$$

$$P_{entrada} = 21.75 + 1.19$$

$$\therefore P_{entrada} \approx 23 \text{ psi}$$

Factor de seguridad

$$N = \frac{P_{tubería}}{P_{sistema}}$$

$$N = \frac{2\,600 \text{ psi}}{23 \text{ psi}}$$

$$N = 113$$

Diseño sistema de recirculación de etapa 3

Cálculo de velocidad de flujo

$$Q = 0.0005 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi(0.03)^2}{4} = 7.07 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{0.0005}{2.835 \times 10^{-4}}$$

$$\therefore v = 0.70 \text{ m/s}$$

Numero de Reynolds (flujo turbulento o laminar)

$$Re = \frac{vD}{\nu} = \frac{0.7 \cdot 0.03}{1.004 \times 10^{-6}} = 20\,916$$

$\therefore Re > 4\,000$, el flujo es turbulento.

Cálculo del factor de fricción (f) con formula de Swamee-Jain

$$f = \frac{0.25}{\left[\log_{10} \left(\frac{\varepsilon/D}{3.7} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2}$$

$$f = \frac{0.25}{\left[\log_{10} \left(\frac{0.0000015/0.03}{3.7} + \frac{5.74}{(20\,916)^{0.9}} \right) \right]^2}$$

$$\therefore f = 0.0257$$

Perdida por fricción en tubería recta

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

$$h_f = 0.0257 \cdot \frac{1.35}{0.03} \cdot \frac{(0.7)^2}{2 \times 9.8067}$$

$$\therefore h_f = 0.029 \text{ m.c.a.}$$

Perdida por accesorios (h_{acc})

Tabla 32*Pérdidas de fricción aproximada en accesorios de tubería equivalentes de tubería recta*

Accesorio	K	Cantidad	K total
Codo 90 °	0.90	5	4.50
Codo 45 °	0.24	1	0.24
Válvula de verificación, tipo bola	0.11	1	0.11
Filtro	1.10	1	1.10
Malla salida	0.85	1	0.85
<i>K_{total}</i>			6.80

Nota. Referencia técnica de la estimación de caída de presión a través de accesorios de líneas de fluido obtenida por el siguiente catálogo [40] .

$$h_{acc} = K_{total} \cdot \frac{v^2}{2g} = 6.80 \cdot \frac{(2.35)^2}{2 \cdot 9.8067}$$

$$\therefore h_{acc} = 1.91 \text{ m. c. a.}$$

Altura manométrica total

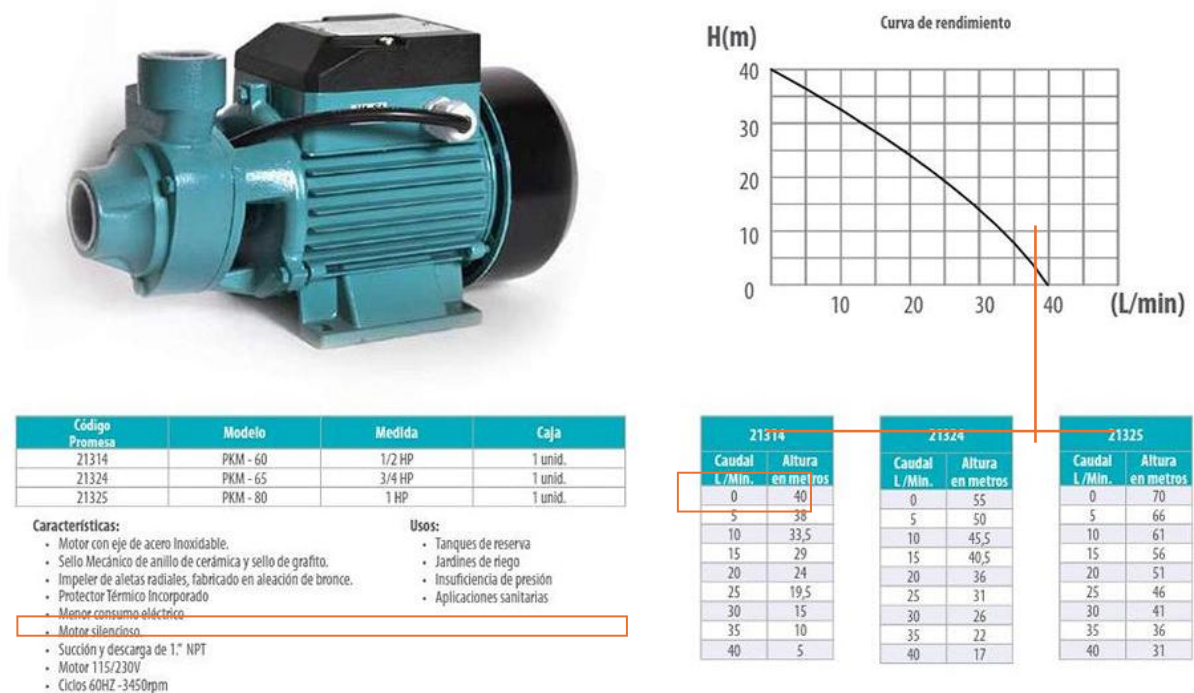
$$H_m = h_f + h_{acc} = 0.029 + 1.91$$

$$\therefore H_m = 1.94 \text{ m. c. a.}$$

Selección de bomba periférica de ½ hp, con un caudal aproximadamente 39.0 L/min.

Figura 44

Ficha técnica de bomba periférica seleccionada



Nota. Ficha técnica obtenida del catálogo de bomba periférica [35]

Consumo de recursos

Se tiene los siguientes parámetros iniciales y consideraciones para cada etapa de la máquina, como se muestra desde la Tabla 33-37.

Tabla 33

Parámetros iniciales y consideraciones

Parámetros	Valor/Descripción
Personas por turno	250
Ingreso por día	4 (inicio de turno y luego de almuerzo/cena en dos turnos)
Estaciones en serie	3 personas simultáneas
Duración por etapa	7s por persona, considerando 1.5 segundo de paso entre etapas
Régimen estable	514.29 personas/h

Parámetros	Valor/Descripción
Etapa 1 – Caudal solución (agua + detergente)	4.32 L/min
Etapa 2 – Caudal agua limpia	1.56 L/min
Etapa 3 – Sistema de recirculación	Depósito 98 L, caudal de bomba 39L/min (aproximadamente 24 renovaciones/h)
Dosificación detergente (por 250 personas)	6 L (0.024 L/persona)
Dosificación desinfectante 10%, 2ml/L (por 250 personas)	0.51 L (0.00204 L/persona)

Nota. Información recopilada de requerimientos previos y estimación de consumo acorde a caudal de requerido en cada etapa

Tabla 34

Resultados etapa 1 (solución agua + detergente)

Descripción	Valor
Caudal total (solución)	4.32 L/min
Volumen de solución por personas (7s)	0.504 L/persona
Desglose por persona	Agua 0.480 L, detergente 0.024 L
Consumo por hora (514.29 personas/hora) - Agua	246.86 L/h
Consumo por hora (514.29 personas/hora) - Detergente	12.34 L/h

Nota. Resultado de recursos requeridos para etapa 1

Tabla 35

Resultados etapa 2 (agua)

Descripción	Valor
Caudal total (solución)	1.56 L/min
Volumen de agua por personas (7s)	0.182 L/persona
Consumo por hora (514.29 personas/hora) - Agua	93.60 L/h

Tabla 36*Resultados etapa 3 (sistema de recirculación)*

Descripción	Valor
Depósito	98 L
Caudal de bomba periférica	39 L/min
Renovación por hora (aprox.)	24 volúmenes/h
Desinfectante por persona	0.00204 L/persona
Consumo de desinfectante por hora (514.3 personas/hora)	1.05 L/h

Tabla 37*Comparación: proceso actual (manual) vs. proceso propuesto (automatizado)*

Parámetro	Proceso actual (manual)	Proceso propuesto (automatizado)
Tiempo de proceso para 250 personas	45 min	29.17 min
Agua (L/ingreso)	610.1 L	165.5 L
Detergente (L/ingreso)	6 L	6 L
Desinfectante (L/ingreso)	0.51 L	0.51 L

Nota. La comparación se realizó considerando un total de 250 personas

Tabla 38*Comparación: capacidad de limpieza por hora*

Parámetro	Proceso actual (manual)	Proceso propuesto (automatizado)
Personas por hora	333.3	514.3
Agua (L/h)	813.33 L	340.46 L
Detergente (L/h)	8 L	12.34 L
Desinfectante (L/h)	0.68 L	1.05 L

Listado de accesorios para cada línea de suministro

En la Tabla 39-41, se detallan los accesorios que utilizados en cada etapa.

Tabla 39*Etapa 1: lista de accesorios y tubería*

Elemento	Detalle	Cantidad
Niple 1/2"	Neplo acero inox cintura 150 lbs 1/2" T304	1
Válvula de bola 1/2"	Válvula esférica acero inox 304 2CP 1000 WOG 1/2" TW	1
Válvula solenoide 1/2"	Electrovalvula Valvula Solenoide 1/2 12v 110v	1
Neplo 1/2" x60mm	Neplo acero inox 1/2 x 6cm	1
Conector tubo a macho NPT 1/2"	Conector recto: tubo a la hembra	1
Tubo acero inox	Tubo de acero inoxidable sin soldadura	2942
Boquilla de aspersión plana	Número de parte HB1/8VV-650017	4

Tabla 40*Etapa 2: lista de accesorios y tubería*

Elemento	Detalle	Cantidad
Niple 1/2"	Neplo acero inox cintura 150 lbs 1/2" T304	1
Válvula de bola 1/2"	Válvula esférica acero inox 304 2CP 1000 WOG 1/2" TW	1
Válvula solenoide 1/2"	Electrovalvula Valvula Solenoide 1/2 12v 110v	1
Neplo 1/2" x60mm	Neplo acero inox 1/2 x 6cm	1
Conector tubo a macho NPT 1/2"	Conector recto: tubo a la hembra	1
Tubo acero inox (mm)	Tubo de acero inoxidable sin soldadura	2606
Boquilla de cono lleno	Número de parte B1/8HH-SS1.5	2

Tabla 41*Etapa 3: lista de accesorios y tubería*

Elemento	Detalle	Cantidad
Codo 1" x 90	Codo acero inox 1"x 90 150 lbs T-304	5
Unión universal 1"	Unión universal acero inox 1" 150 lbs T-304	4
Neplo hexagonal 1"	Neplo acero inox 1" 150 lbs T-304	11

Tubería (mm)	Tubería ASME B36.10M con extremos roscados 1" - Cédula 160	1224.3
Tee 1"	Tee acero inox 1" 150 lbs T-304	1
Válvula de bola 1"	Válvula esférica acero inox 1" T-304	1
Tapón macho 1"	Tapón acero inox macho 1" T-304	1
Bomba periférica	Bomba Periferica 1/2Hp 110V	1
Filtro	Filtro de sedimentos estándar. Retención de sólidos mayores a 50 micras	1
Filtro malla	Filtro en acero inox malla y O'ring	1

Apéndice E

Direccionamiento de entradas y salidas del PLC

Tabla 42

Lista de E/S del sistema a controlar con PLC S7-1200

E/S	Dirección
Interruptor de llave	I0.0
Pulsador de marcha	I0.1
Pulsador de paro	I0.2
Sensor de presencia	I0.3
Botonera de paro de emergencia	I0.4
Motor trifásico	Q0.0
Bomba de recirculación (etapa 3)	Q0.1
Luz piloto (marcha)	Q0.2
Luz piloto (paro)	Q0.3
Luz piloto (etapa 1)	Q0.4
Luz piloto (etapa 2)	Q0.5
Luz piloto (etapa 3)	Q0.6
Válvula solenoide (etapa 1)	Q0.7
Válvula solenoide (etapa 2)	Q1.0

Programación Ladder - sistema de cepillado

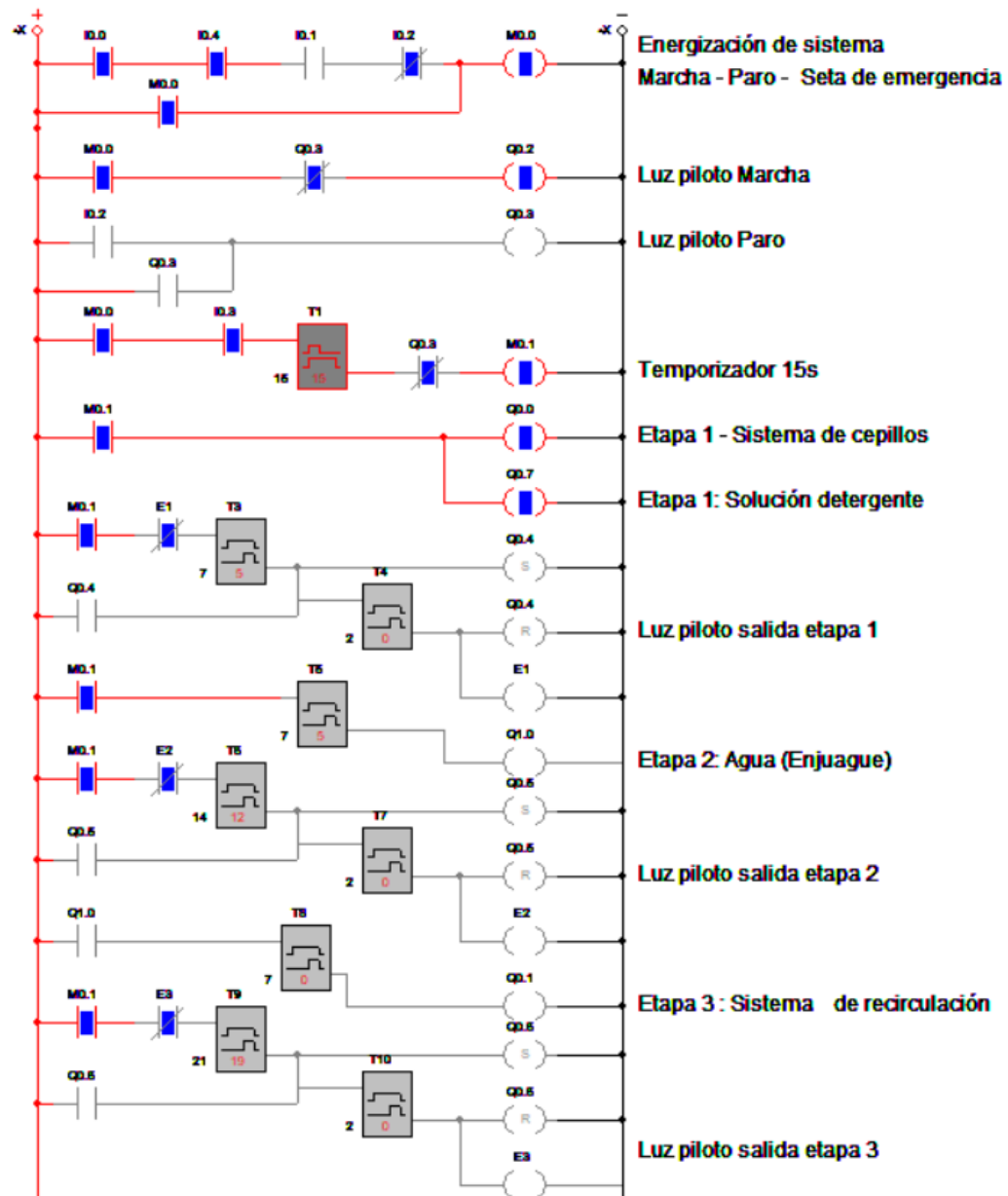
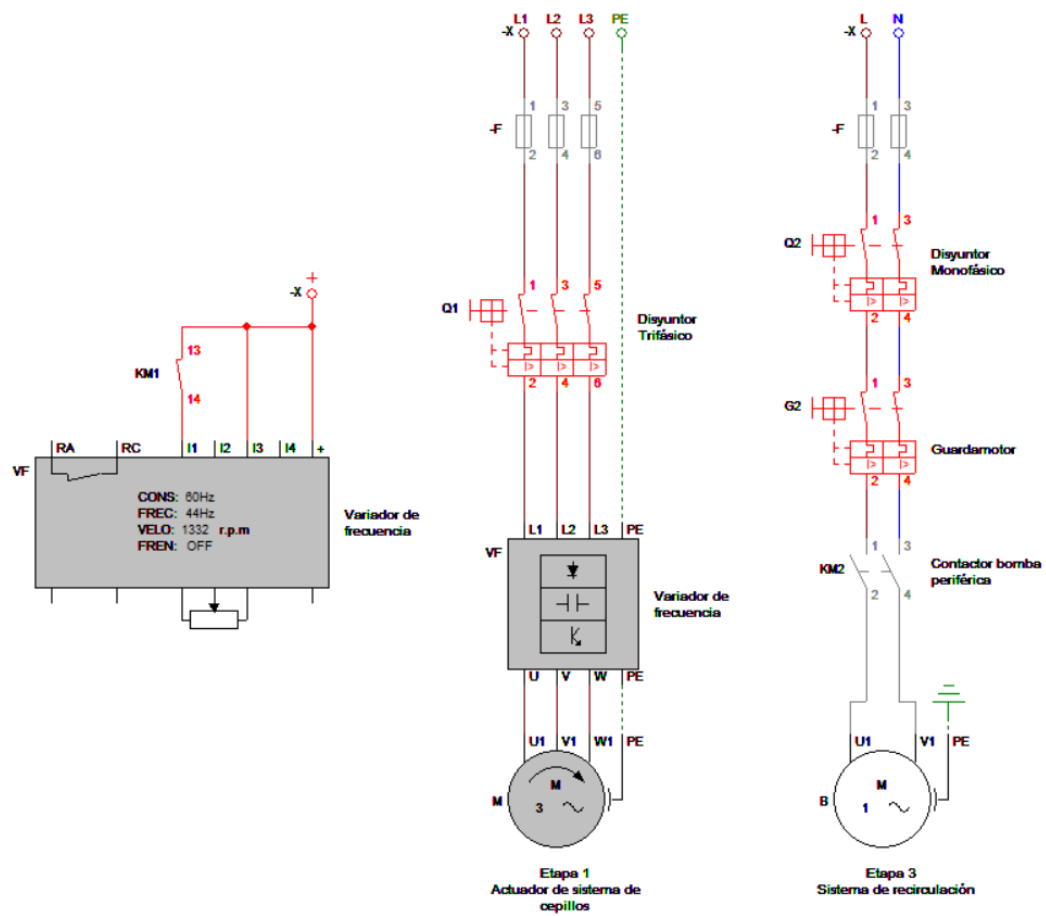


Figura 46

Circuito de fuerza - sistema de cepillado



Apéndice F

Planos sistema mecánico